

関東ゴルフ連盟
第63回グリーン研究講習会

土壌環境の見直しと改良 ～更新作業～

東洋グリーン株式会社 幸村 陽子

内容

- ▶ 土壌の物理的特性と変化
土壌環境悪化のメカニズム
- ▶ 土壌環境悪化が芝の生育に及ぼす影響
水分移動、土壌ガス組成
- ▶ 土壌環境を改善するための更新作業
各種作業の効果と持続性

「適正なプレーイングクオリティを提供し、
かつ、健全で美しいターフを作る」

更新作業の目的

- 土壌環境の改善
 - ・排水性・通気性を改善、固結を緩和
- 芝草の生理的機能の活性化（若返り）
 - ・古い組織を取り除き、新しい組織として再生
- プレーイングクオリティの適正化
 - ・地表面の芝密度、面の堅さのコントロール、ターフの均一性と安定性

なぜサンドグリーンなのか？

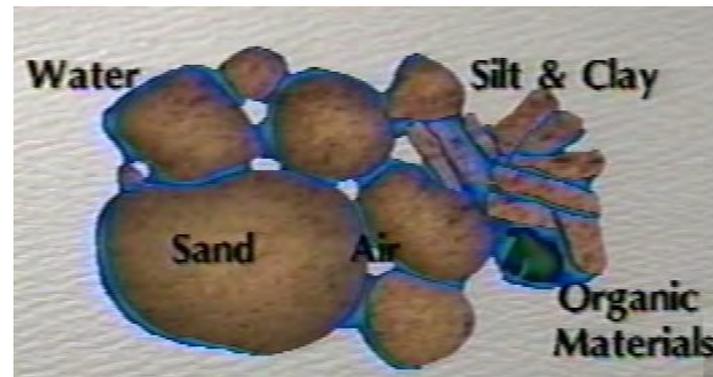
- 芝生地は畑地と違い、耕うんができない
- 砂の物理的特性を重視
 - ・排水性が高い
 - ・固結しにくい
 - ・芝草の根が発達しやすい空隙を確保できる
- 砂は土に比べ化学的性質（保肥力、肥沃度）は劣る
→ 施肥で補う

三相分布

固相： 鉱物(砂、土)、有機物など固体

液相： 水 (=毛管孔隙)

気相： 空気 (=粗孔隙)



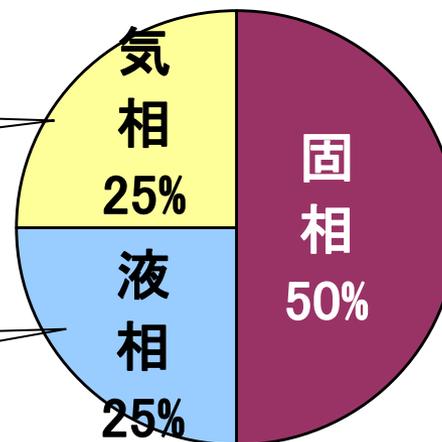
三相分布とは、固相、液相、気相、それぞれの容積比

⇒ 土壤の透水性や通気性を支配する

土壤中、水や空気が自由に移動できるスペース(粗孔隙)

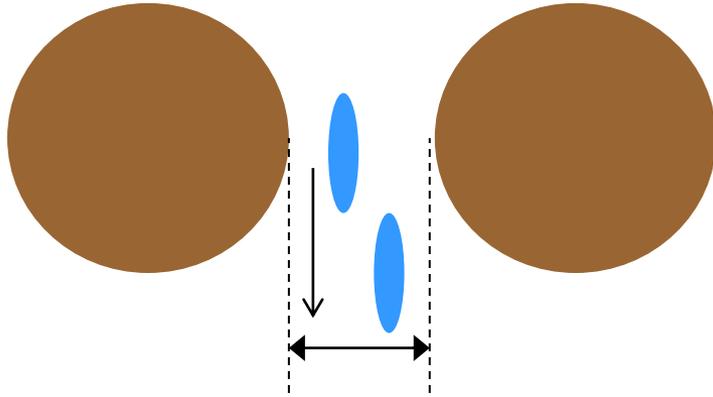
重力に逆らって土壤中に保持される水

望ましい状態

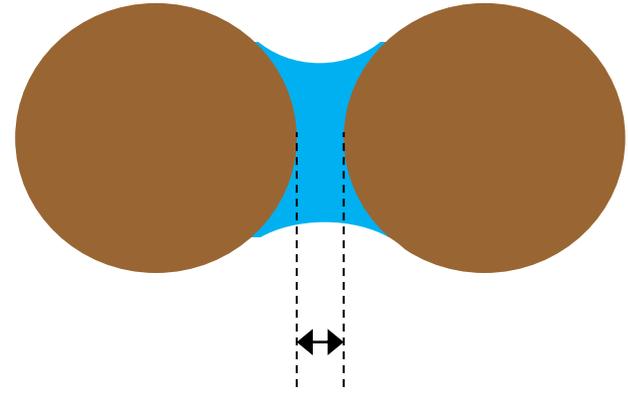


土壌中での水の形態

A

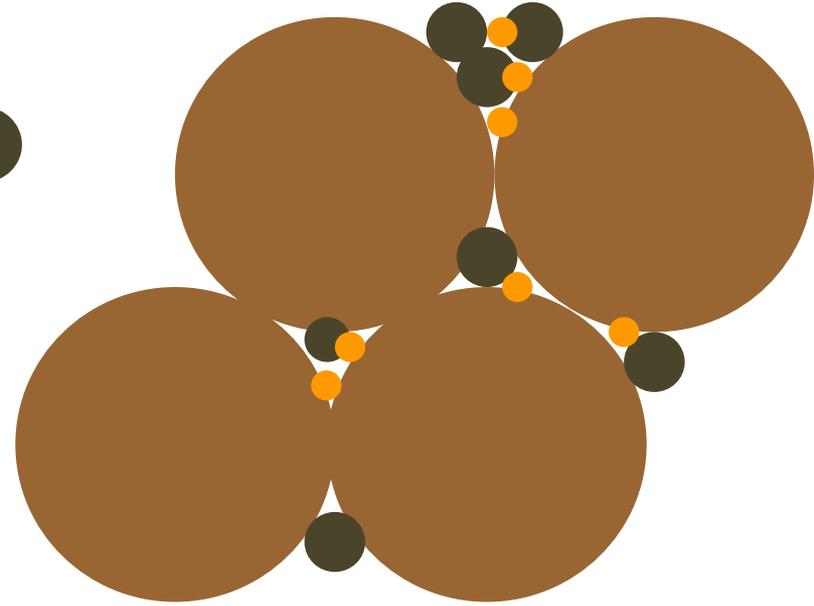
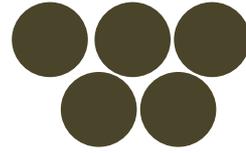
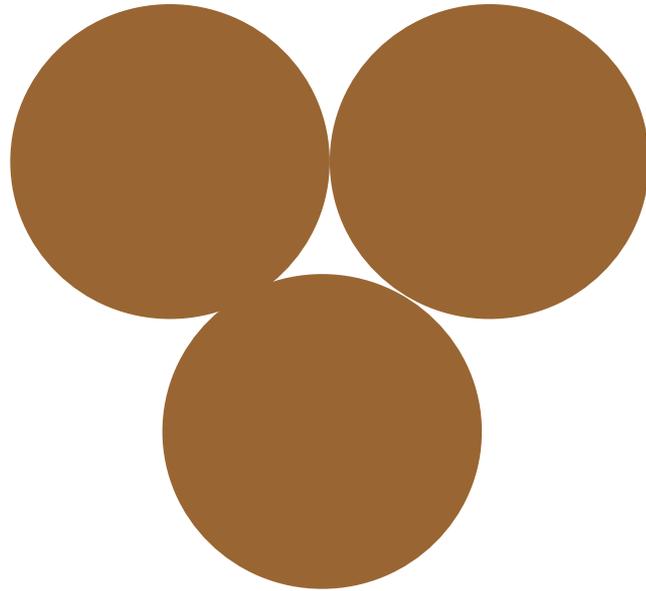


B

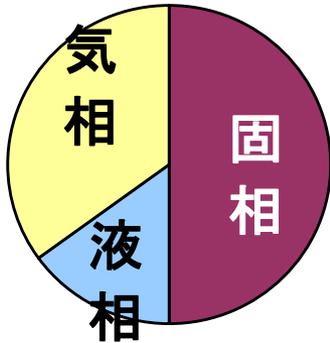


- A. 土壌粒子の隙間が広いと、水は重力とともに下方へ流れる。
- B. 粒子の隙間が狭いと表面張力が働き、水は粒子間に保持される。

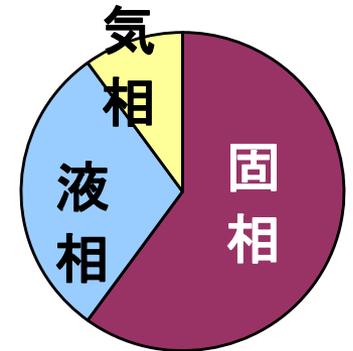
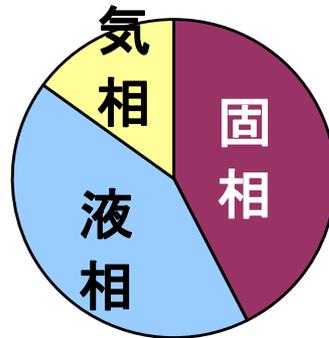
土壌粒子の大きさと割合で水分保持力が変わる



砂



土



USGA 方式のルートゾーンミックスの粒径分布

名称	粒径	基準値(重量ベース)	
微細礫	2.0 - 3.4 mm	この範囲に入るものが全粒子の10%未満であること。 微細礫は最大でも3%未満(全くないほうが良い)。	
極粗砂	1.0 - 2.0 mm		
粗砂	0.5 - 1.0 mm	最低でも全粒子の60%がこの範囲に入ること	
中砂	0.25 - 0.50 mm		
細砂	0.15 - 0.25 mm	この範囲に入る粒子が20%未満であること	
微細砂	0.05 - 0.15 mm	5%未満	10%以下であること
シルト	0.002 - 0.05 mm	5%未満	
クレイ(粘土)	0.002mm未満	3%未満	

USGA 方式のルートゾーンミックスの物理性

物理性	許容範囲
総孔隙	35% - 55%
非毛管孔隙(気相)	15% - 30%
毛管孔隙(液相)	15% - 25%
飽和透水性	150mm/h以上

土壌環境が悪化する原因

造成時

- ▶ 設計(構造、材料)、施工品質

管理の過程

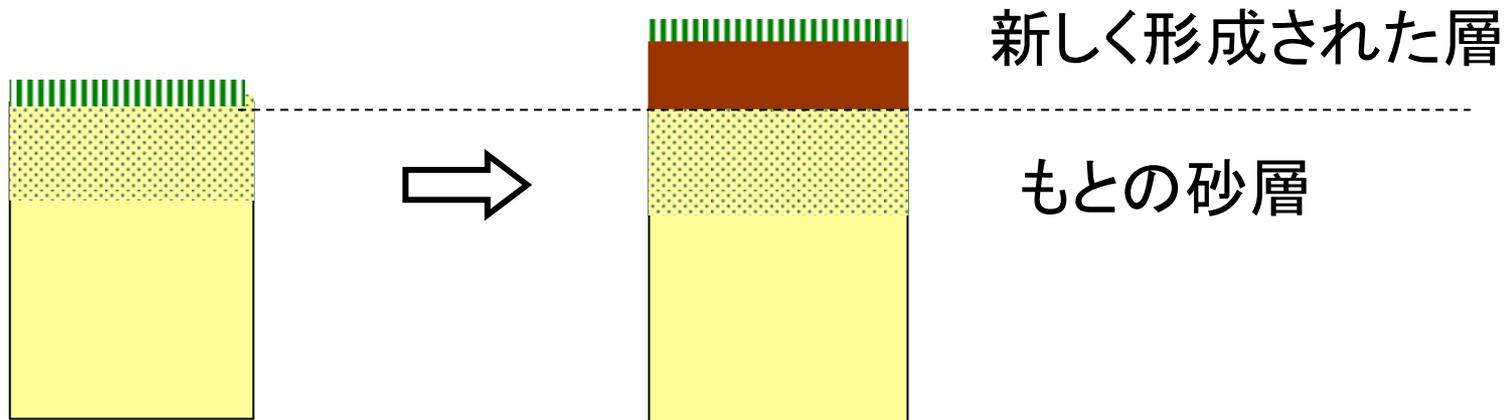
- ▶ 排水構造機能の不具合
- ▶ 目詰まり
- ▶ 固結
- ▶ 芝張替等による床土材料変更
- ▶ 有機物の堆積

造成時に原因あり

管理の中で
防止可能

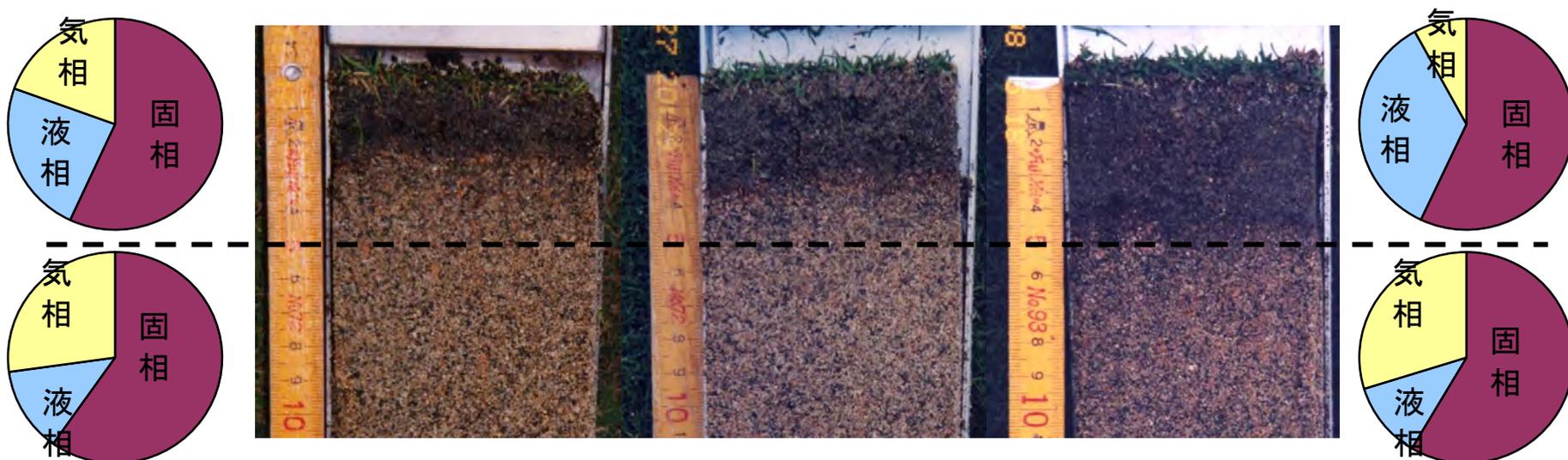
有機物堆積によるサンドグリーン床土の変化

- 目砂によって徐々にグリーン面が上昇し、造成時のグリーン面よりも上に新たな層が形成される
- 適正な砂を用いて造成してある場合、もとの砂層の土壌物理性は大きく変化しない
- 目砂とともに有機物が過剰に堆積すると、表層部は含水率が増加、気相(透水性・通気性)が低下



サンドグリーンにおける 土壌断面と三相分布の変化

造成後 2年半 → 3年半 → 5年



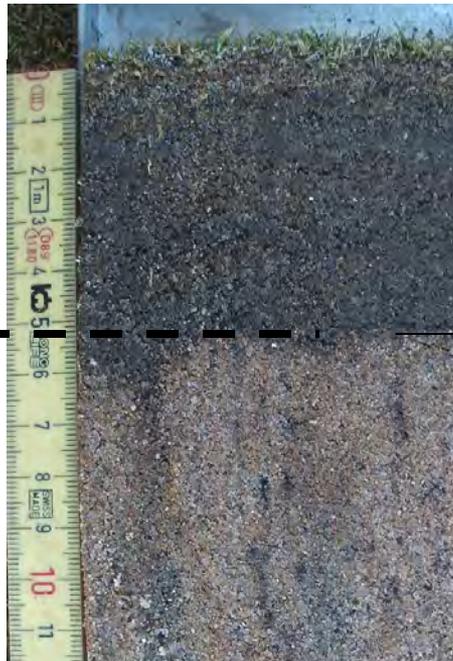
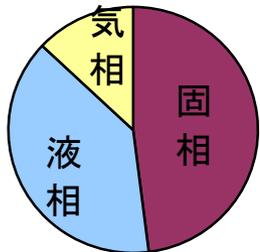
(関東Aゴルフ場, 床土: サンド, 草種: ベントグラス(ペンクロス))

東洋グリーン(株)調査

有機物含量と三相分布

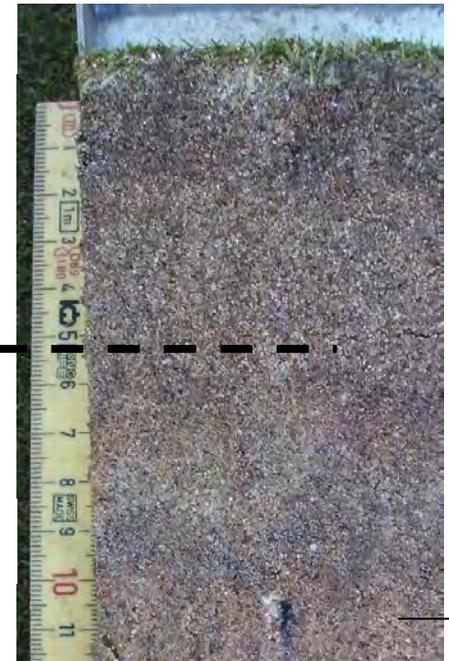
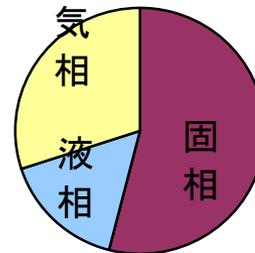
全てのグリーンで表層土壤が悪化するわけではなく、
管理の仕方によって土壤状態は大きく変わる

有機物 5.0%



有機物 1.3%

有機物 3.0%



有機物 1.1%

注) 有機物含量は重量比

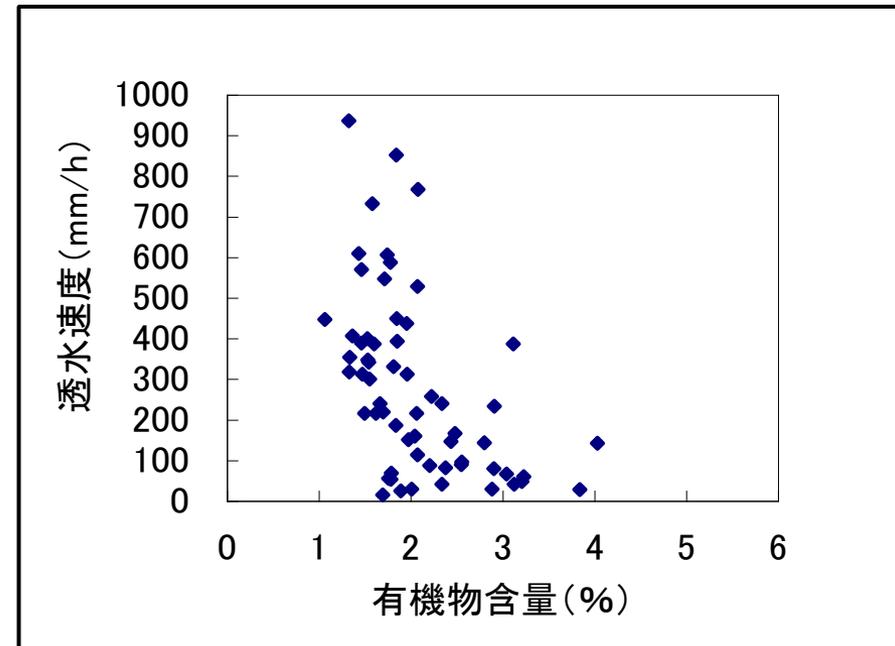
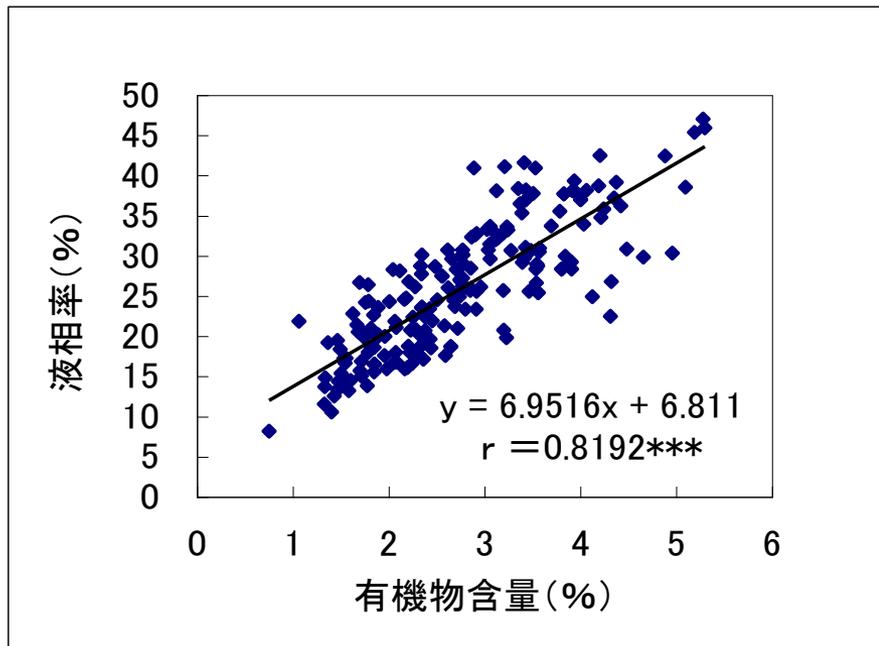
東洋グリーン(株)調査

有機物含量と土壌物理性との関係

有機物が増えると、

◆ 土壌水分が増加

◆ 透水性が低下



グリーン床土中の有機物

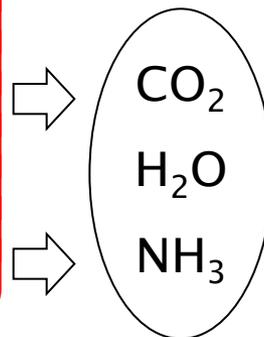
先天的有機物

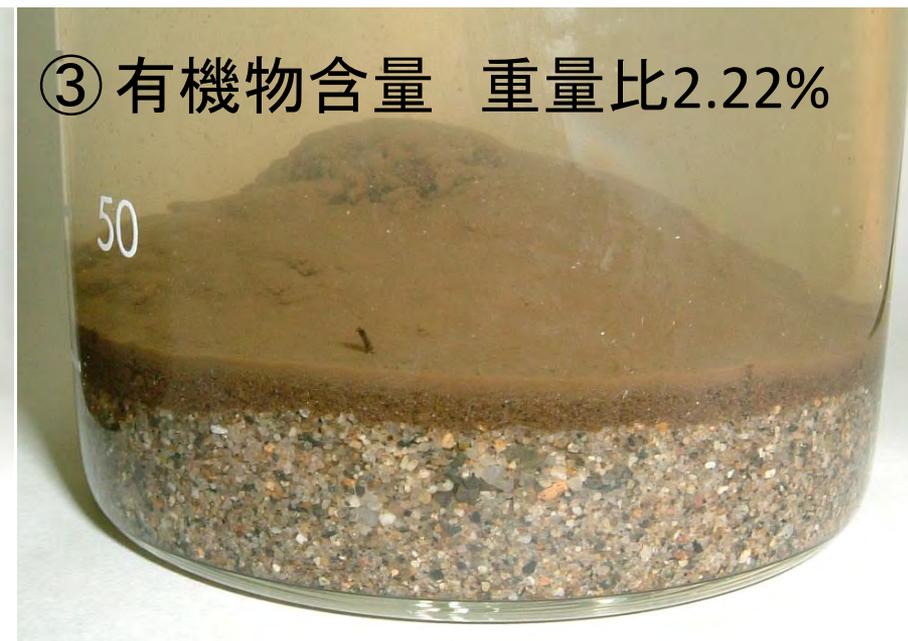
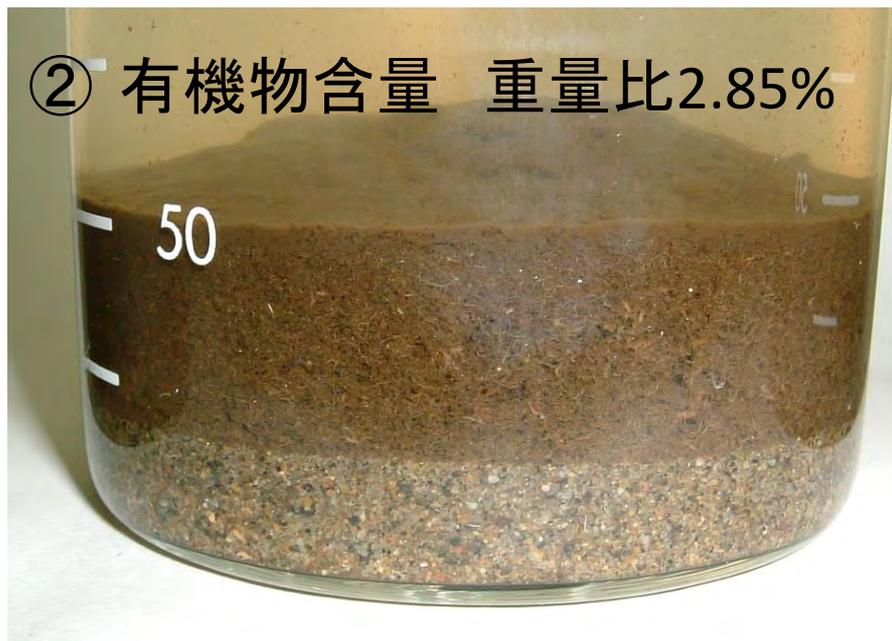
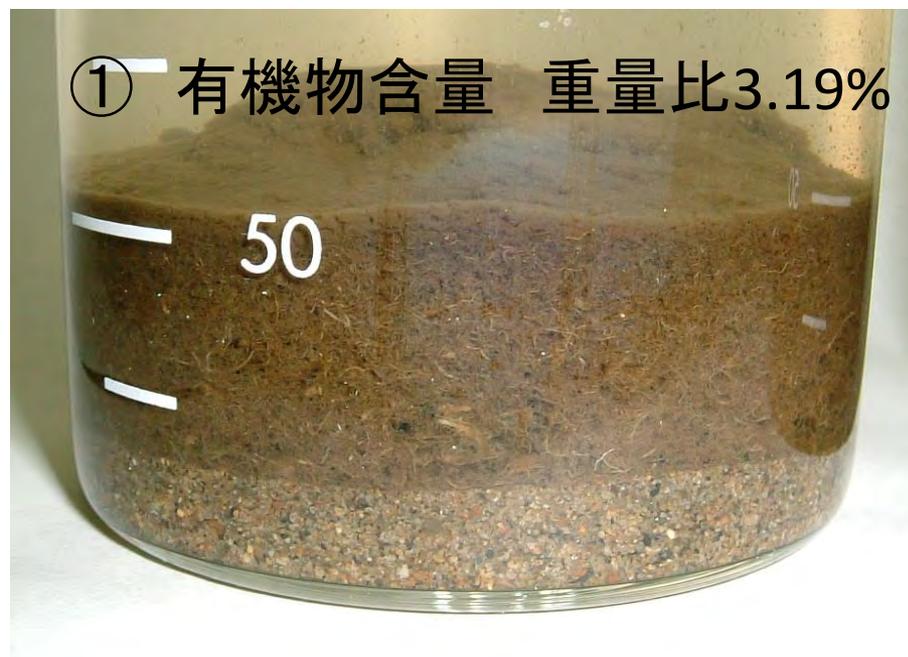
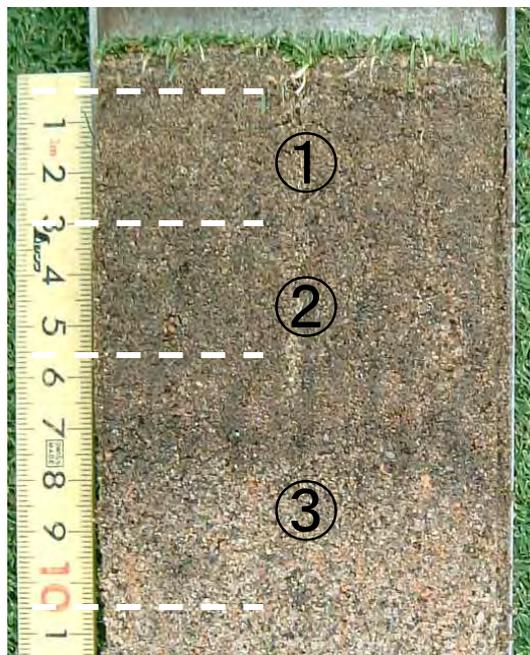
- ・造成時に混合した有機系土改材（ピートモスなど）
- ・土に含まれる腐植

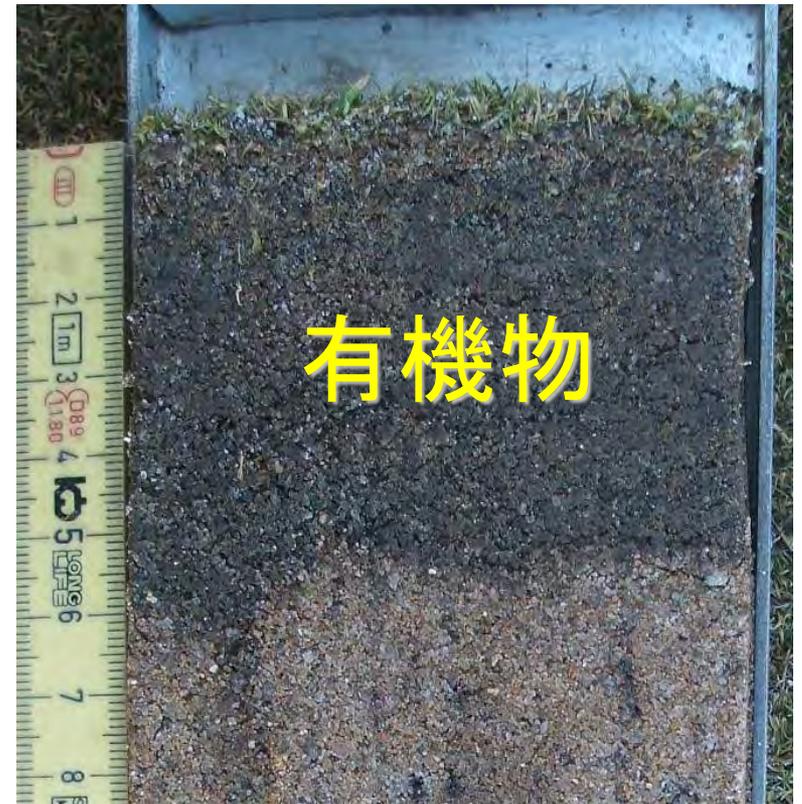
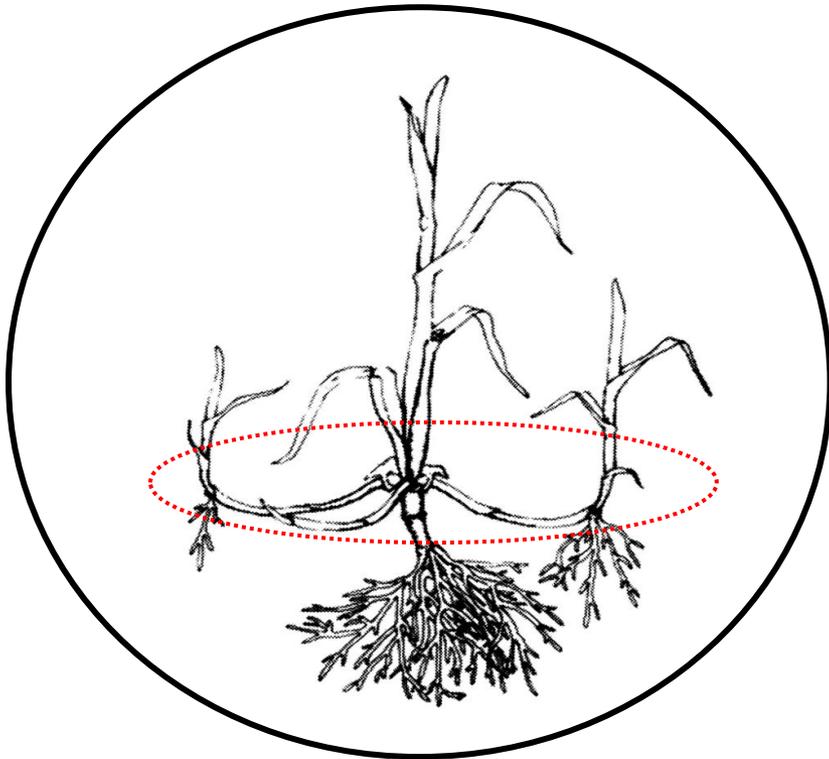
土壤物理性悪化
の原因

後天的有機物

- ・有機系肥料（堆肥など）
- ・植物の生きた組織
↓（枯死）
- ・植物遺体
↓（分解・腐植化）
- ・中間生成物
↓（分解・腐植化）
- ・腐植物質







根よりも、葉、冠部、茎の影響が大きい



難分解性成分(リグニン、セルロースなど)を多く含む

有機物の過剰堆積による弊害

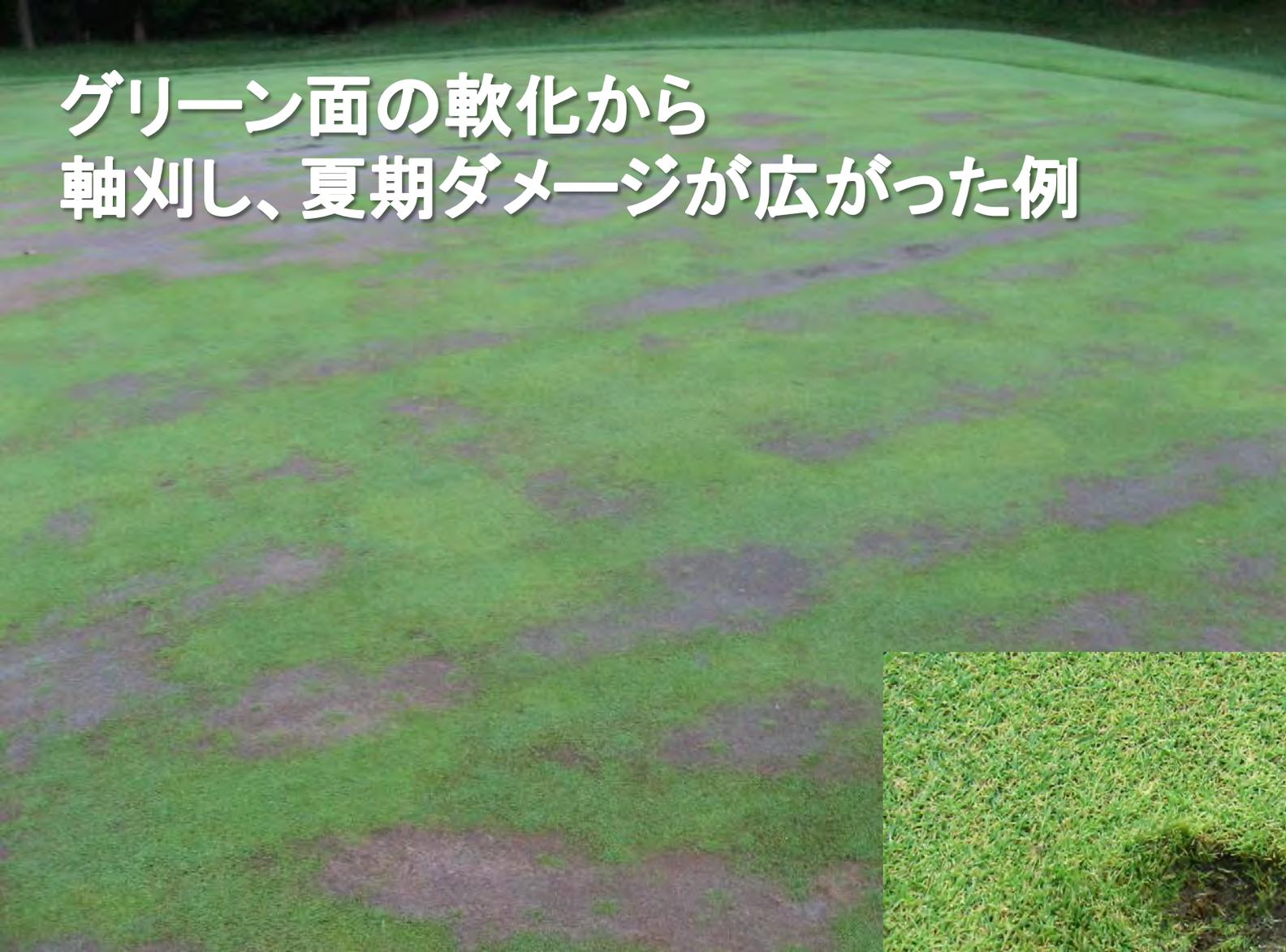
- ▶ 排水不良
- ▶ 土壌の過湿化(病害、ウェットウィルト)
- ▶ 表面の軟化(刈込み時のかじり、ボールマーク)
- ▶ 土壌還元(酸素欠乏)
- ▶ 成層により
 - ・根の伸長阻害
 - ・乾燥害(水の移動の妨げ)
- ▶ 芝の密度低下により、雑草・藻類の侵入

ウェットウィルト



- 高温に、グリーン表層の過湿が重なると、根が機能しなくなり、水が吸えなくなる
- その結果、「土は湿っている(ウェット)」のに、「体内の水が足りない=萎れる(ウィルト)」状態になる

グリーン面の軟化から 軸刈し、夏期ダメージが広がった例

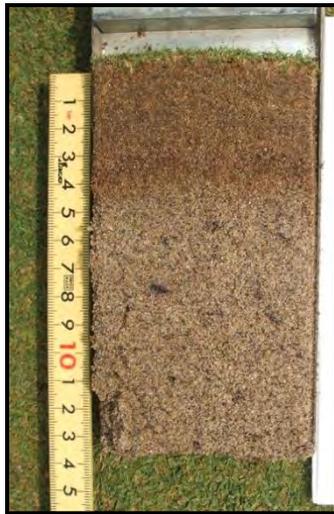


ボールマークも付きやすくなる



成層による根の伸長阻害

(関東地域 同ゴルフ場 同肥培管理)



5月



9月



5月



9月



成層による水の移動の妨げ

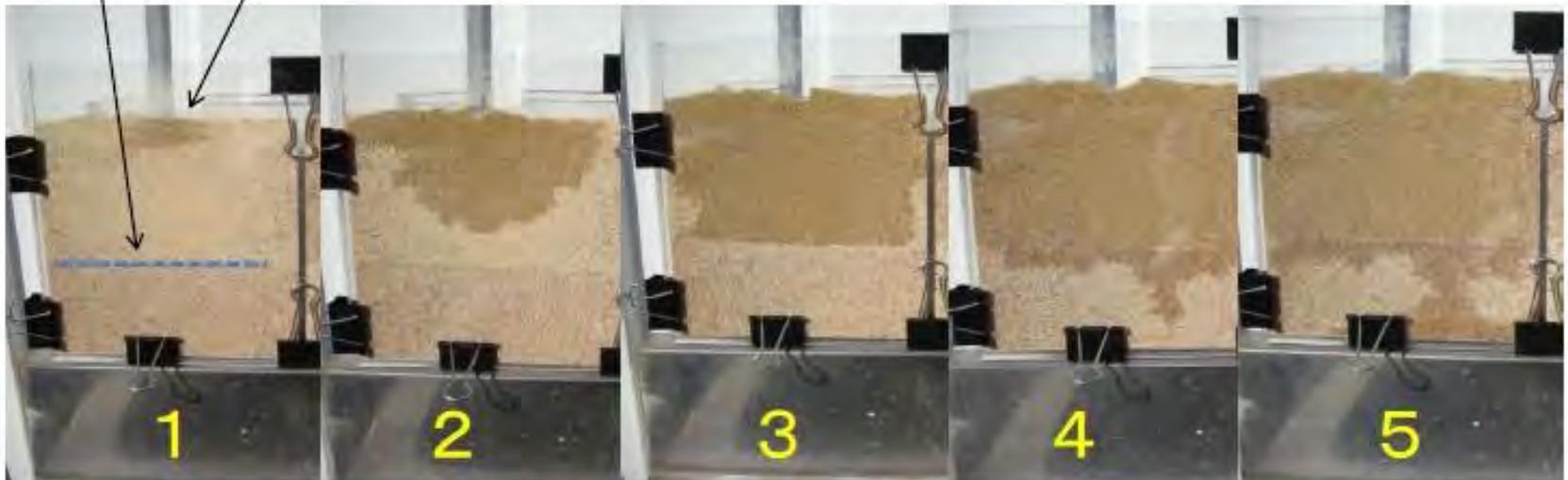
成層土壌の透水試験

東洋グリーン株式会社



供試砂サンプル

境界 上から水を滴下する



1: 試験開始
上層: 細砂
下層: 粗砂

2: 放射状にしみ
込む

3: 境界線で止ま
る

4: 上層が飽和
状態にならな
いと 下層には
下りない

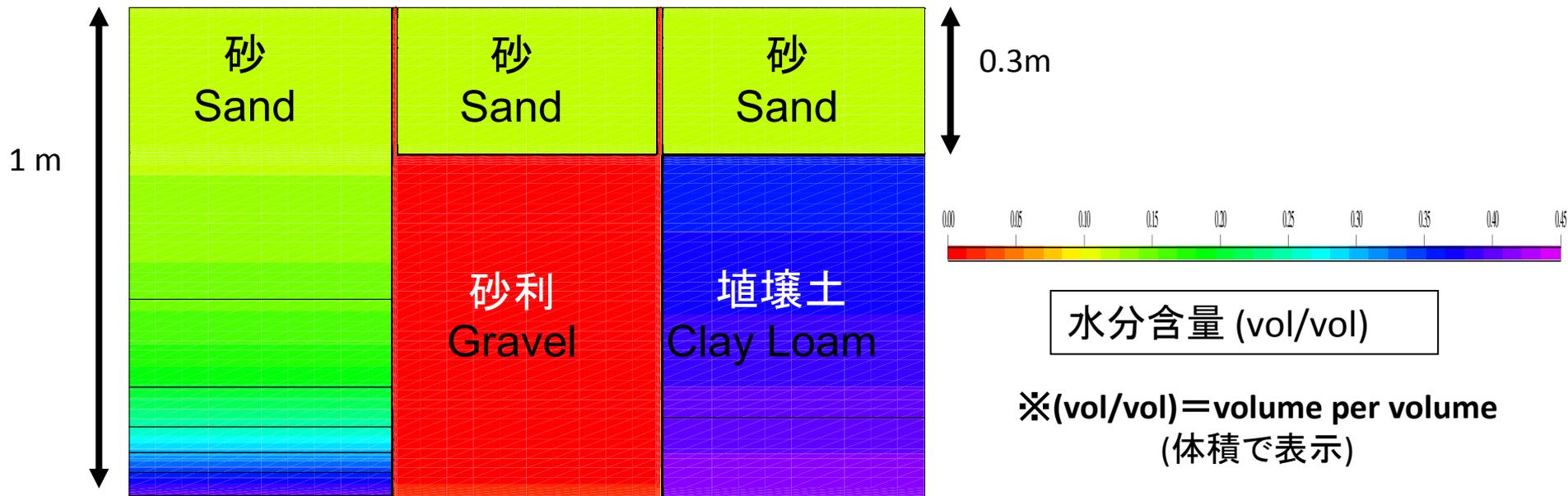
5: 水の通りやすい
部分から一気に
下層へ
水の滲みてい
かない層ができる

さまざまな成層土壌

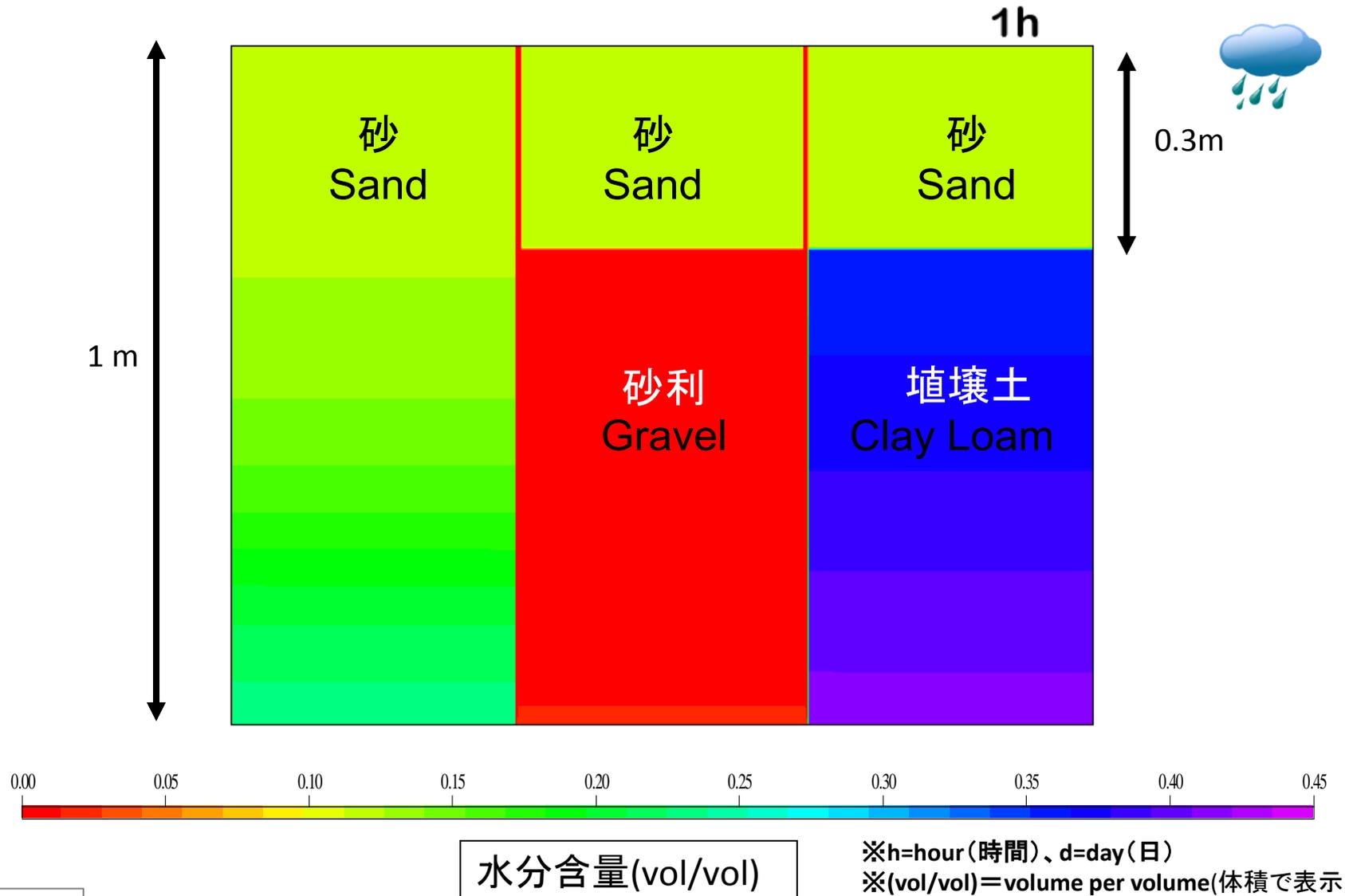


成層土壌のシミュレーション

- 成層土における水分移動を図示する
- 3つの土壌断面を想定する:
 - a) 深い砂
 - b) 30cmの砂が砂利の上にある
 - c) 30cmの砂が埴壤土の上にある
- 12時間の降雨、6.35mm/時で、計76 mmの降水
- 5日間の潜在蒸発散(ET)は5.2 mm/日で毎日12時間



砂および2つの成層土壌の5日間の水分含量のシミュレーション



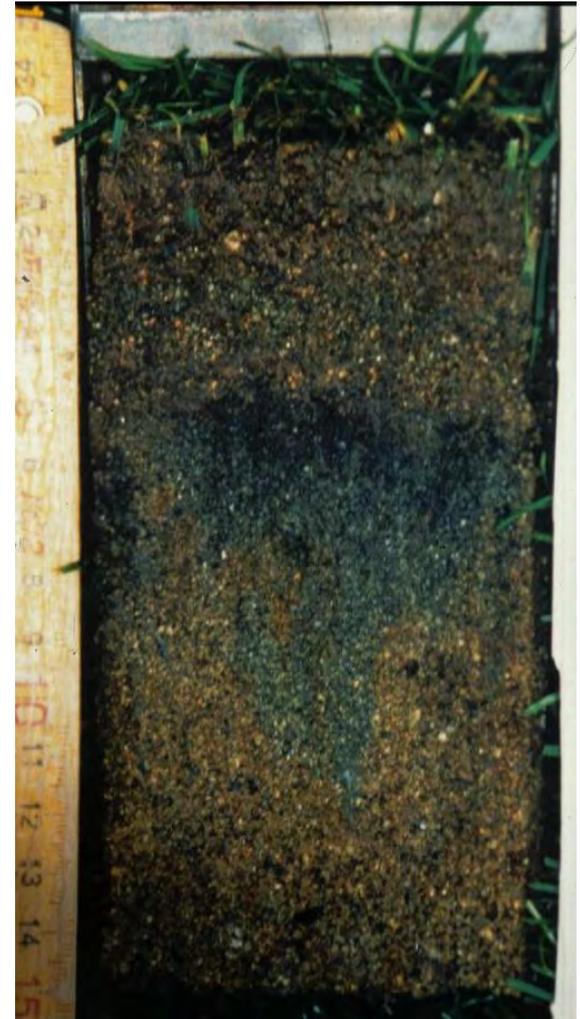
動画

成層のない均一な土壌層を作る

- 基本土壌の水分保持能力特性を活かすためには、成層のない均一な土壌層を作ることが重要
- 極端に物性の異なる土壌層を作らないこと
 - ✓ 芝種変更や張替工事(整地用、生産畑)等の際、土質の大きく異なる砂を入れない
 - ✓ 有機物を過剰に堆積させない

透水・通気不良により起こる土壤酸素不足

- 土壤中では植物の根や微生物の呼吸によって、酸素が消費され、二酸化炭素が排出されている
- 気温が上がってくると、土壤微生物の活動が活発になり酸素を多量に消費
- 土壤中に新しい水や空気が供給されず酸欠を起こす(土壤還元)
- 土壤中の金属が還元され青灰色や黒色を呈す
⇒ ブラックレイヤー
- 植物のための酸素が不足、有害ガス発生



大気の成分

窒素	78.1 %
酸素 O_2	20.9 %
アルゴン	0.9 %
その他	0.1 %

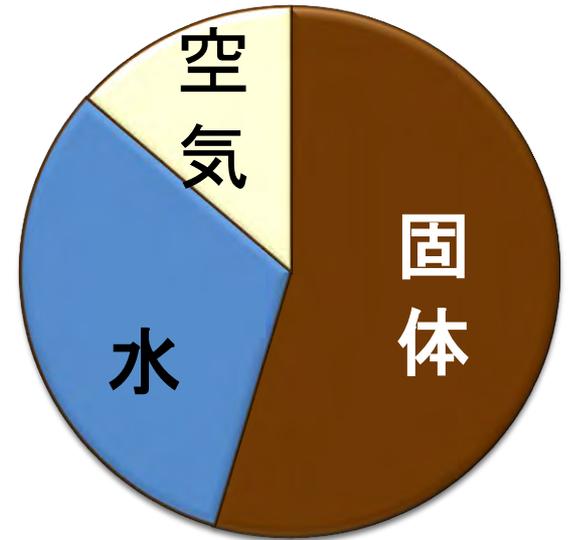
二酸化炭素 CO_2
(0.03~0.04%)
ネオン
ヘリウムなど

人体への影響

- 酸素： 15%以下 息苦しさ、10%以下 動けない、6%以下 失神
- 二酸化炭素： 3% めまい、7% 呼吸困難、10% 意識失う

土壌中の空気

■ 土壌中の空気の量は少ない



- 根や微生物の呼吸により
酸素(O_2)を消費、二酸化炭素(CO_2)を排出
- 土壌中の空気は大気に比べ
酸素濃度は低く、二酸化炭素濃度は高い

【海外文献 その1】

• 現場試験 （南イリノイ大学）

Hickory Ridge GC 造成後約5年（カリフォルニア方式）の9つのベントグリーンで土壌中のCO₂濃度を測定

【結果】

- ・CO₂濃度は春から夏に向けて上昇、8月が最も高い
- ・CO₂濃度5%以上の場合、ターフクオリティは低下

【海外文献 その2】

・ 室内ポット試験 (クレムゾン大学)

USGA構造を想定したポット(品種クレンショー)
の土壌ガス濃度を人工的にコントロール

・ 無処理

・ 17.5%O₂ + 2.5%CO₂

・ 15% O₂ + 5% CO₂

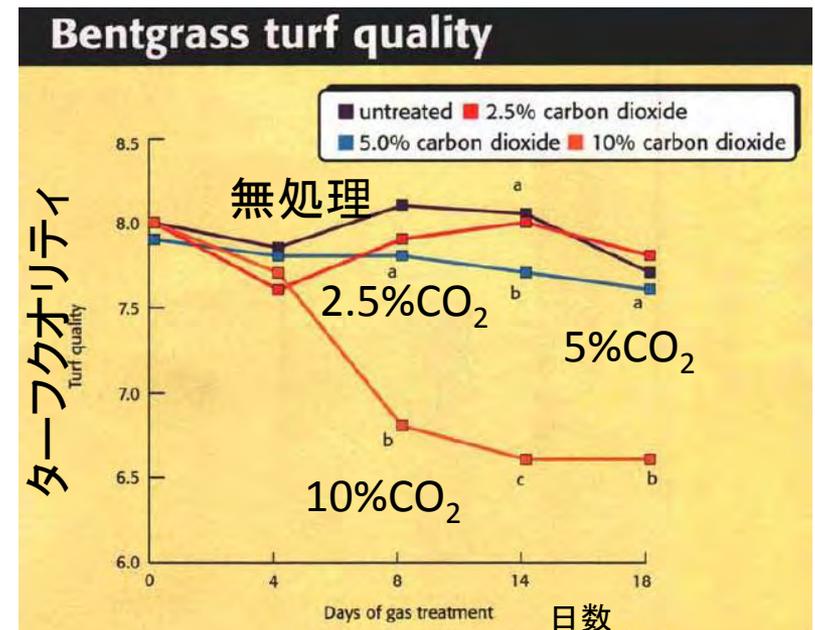
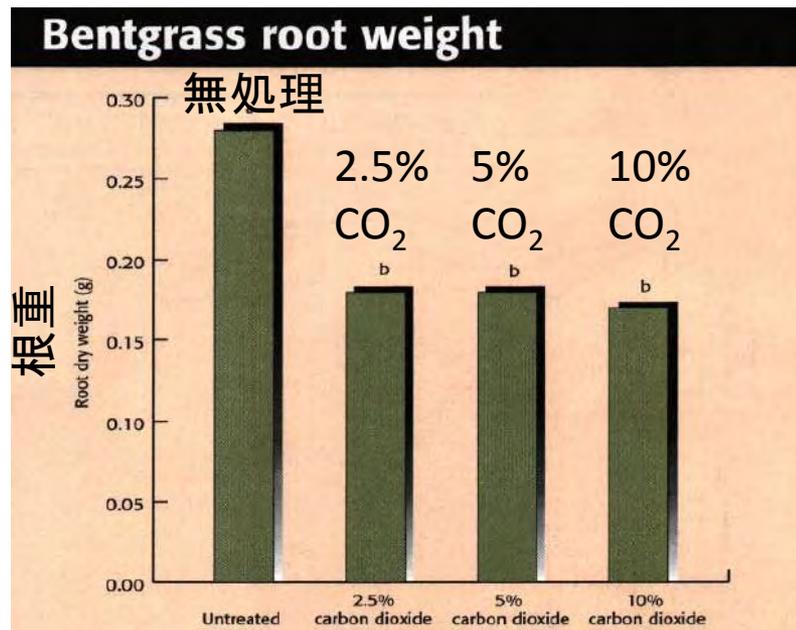
・ 10% O₂ + 10% CO₂



【海外文献 その2】

【結果】

- ・CO₂ 2.5%以上で根の生育低下(根長・根重)
- ・CO₂10%でターフクオリティが許容できないほど低下

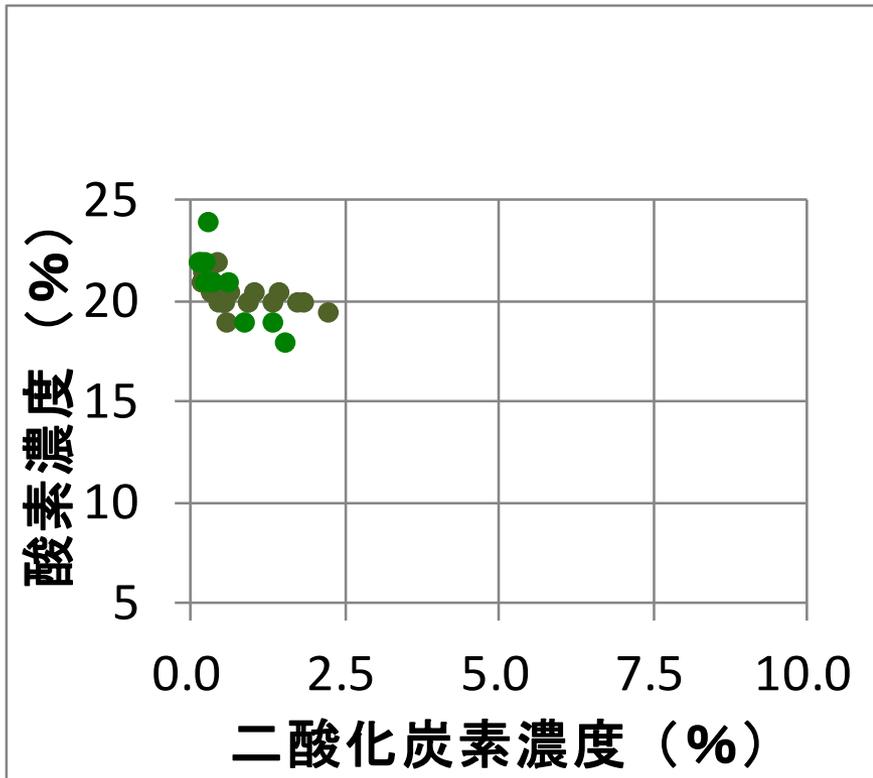


Bunnell, B. Todd; *et al.*2000. Golf Course Management. June. 68(6): p. 63-67.

国内のベントグリーンにおける土壌中のガス濃度

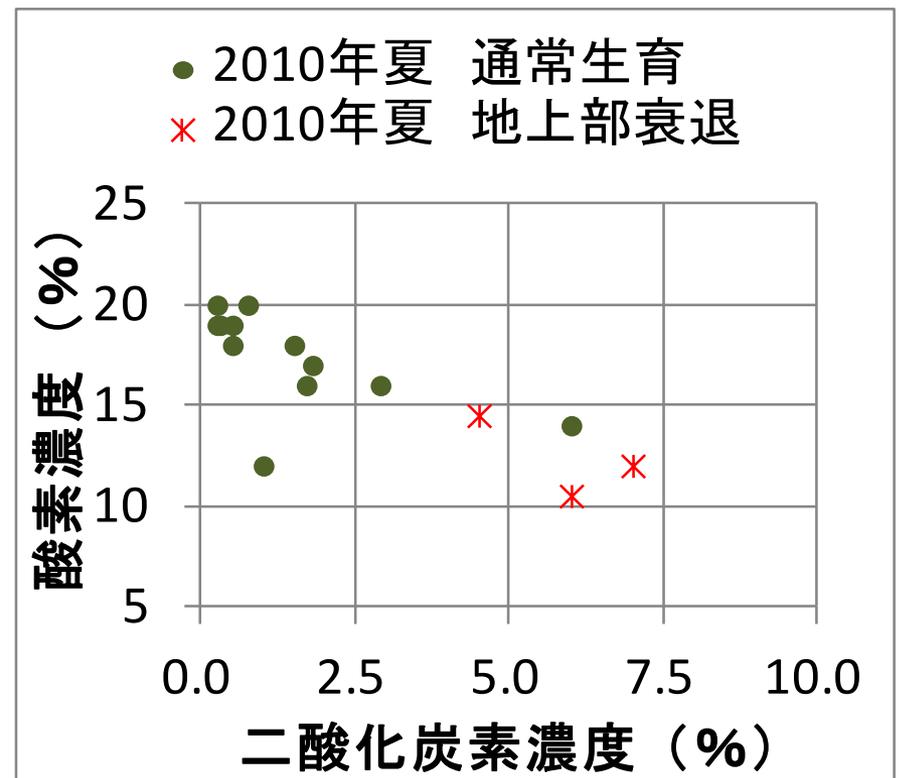
冬期

測定深度 -5cm



夏期

測定深度 -5cm



2010年夏のターフクオリティ

Bゴルフ場 No.5
(土グリーン)

Dゴルフ場 No.12
(USGA方式)

Gゴルフ場 No.14
(USGA方式)



	測定日	CO ₂	O ₂
Bゴルフ場 No.5	8/19	4.5 %	14.5 %
Dゴルフ場 No.12	8/25	6.0 %	12.0 %
Gゴルフ場 No.14	8/27	7.0 %	10.5 %

測定深度 -5cm

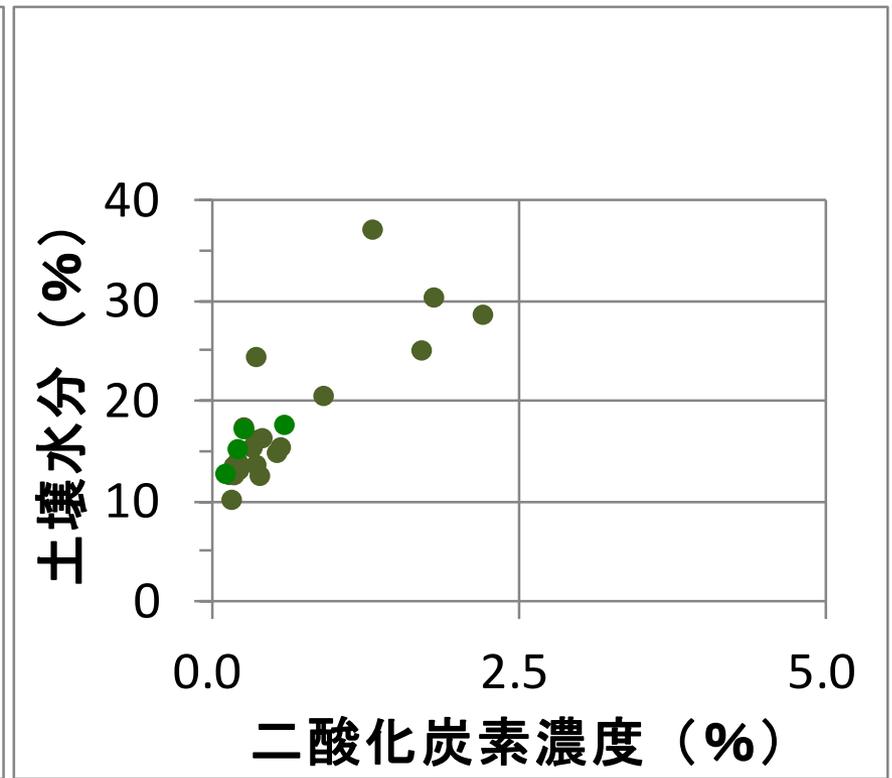
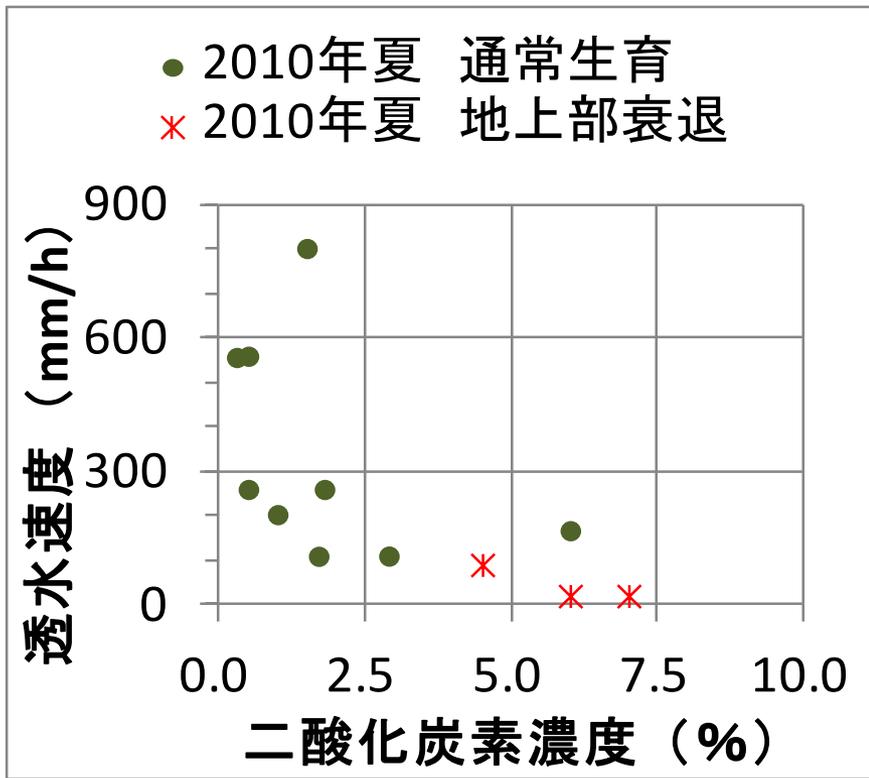
国内のベントグリーンにおける 土壌中のガス濃度と土壌物理性との関係

夏期

測定深度 -5cm

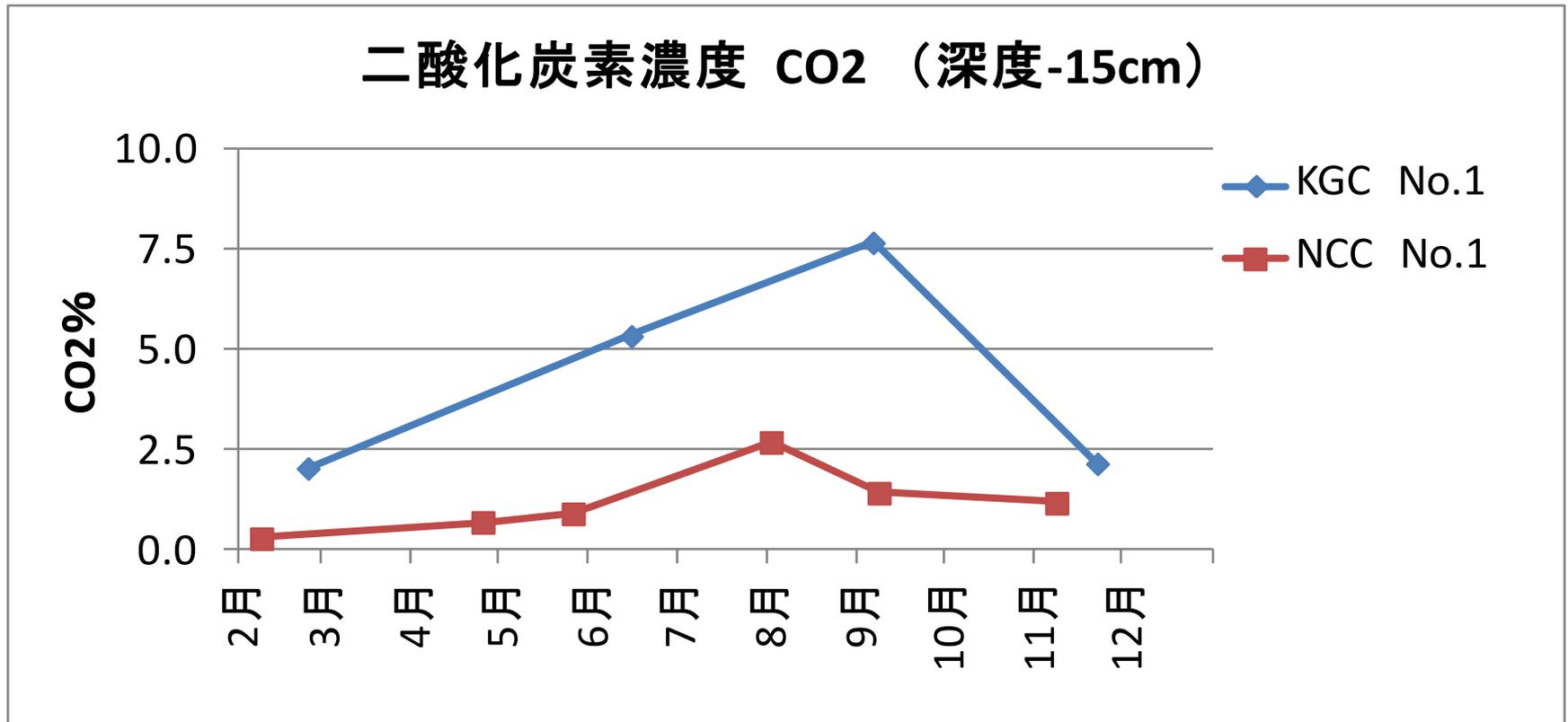
冬期

測定深度 -5cm



東洋グリーン(株)調査 (2011年日本芝草学会にて報告)

土壌中の二酸化炭素濃度の経時変化



- KGC 年間を通して透水速度 100mm/h以下
- NCC 年間を通して透水速度 200mm/h以上

土壌ガスの実態

- 酸素濃度と二酸化炭素濃度は負の相関関係
(酸素 + 二酸化炭素 \doteq 20%)
- 夏期は二酸化炭素が増加、酸素が減少
- 夏期の土壌ガス組成はグリーン間差が大きい

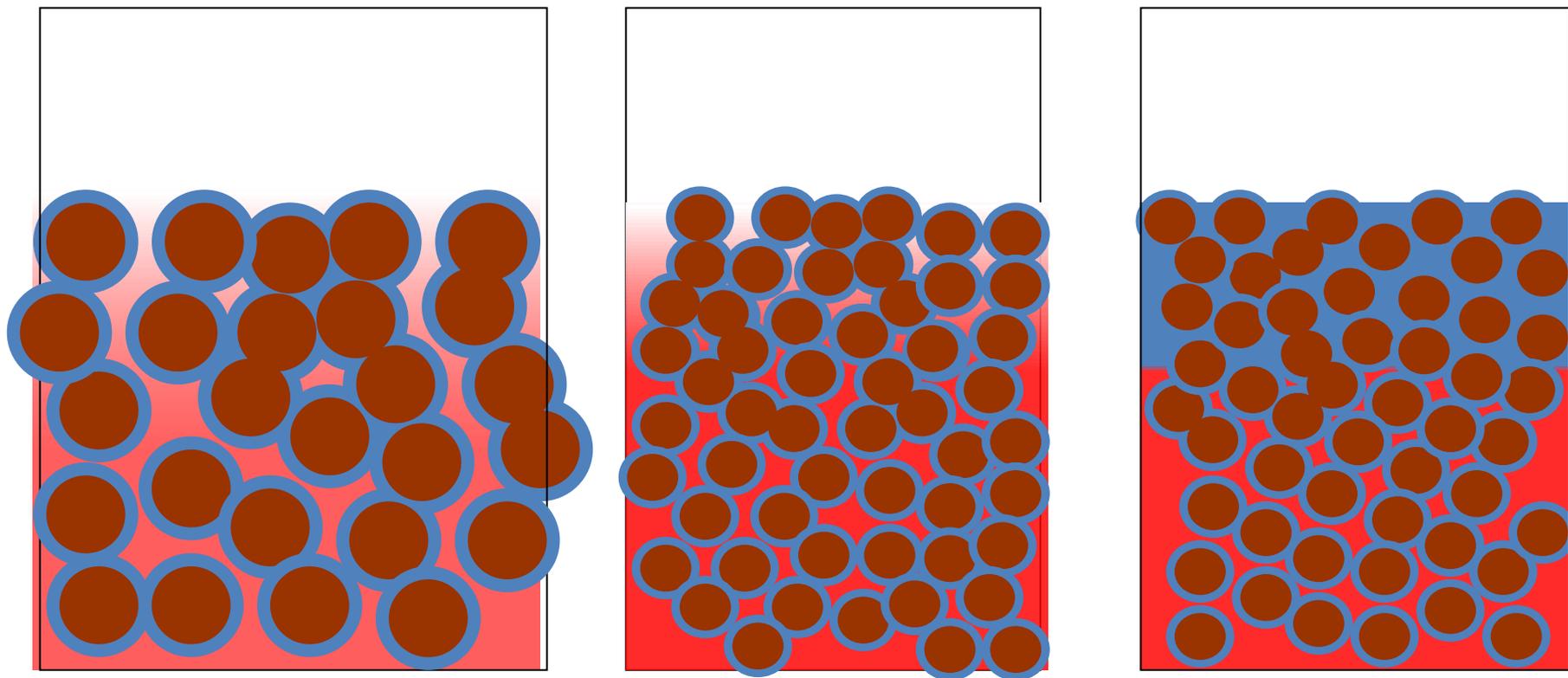
土壌物理性との関係

- 透水性が低いグリーンや、土壌水分が高いグリーンで二酸化炭素濃度が高く、酸素濃度が低くなる

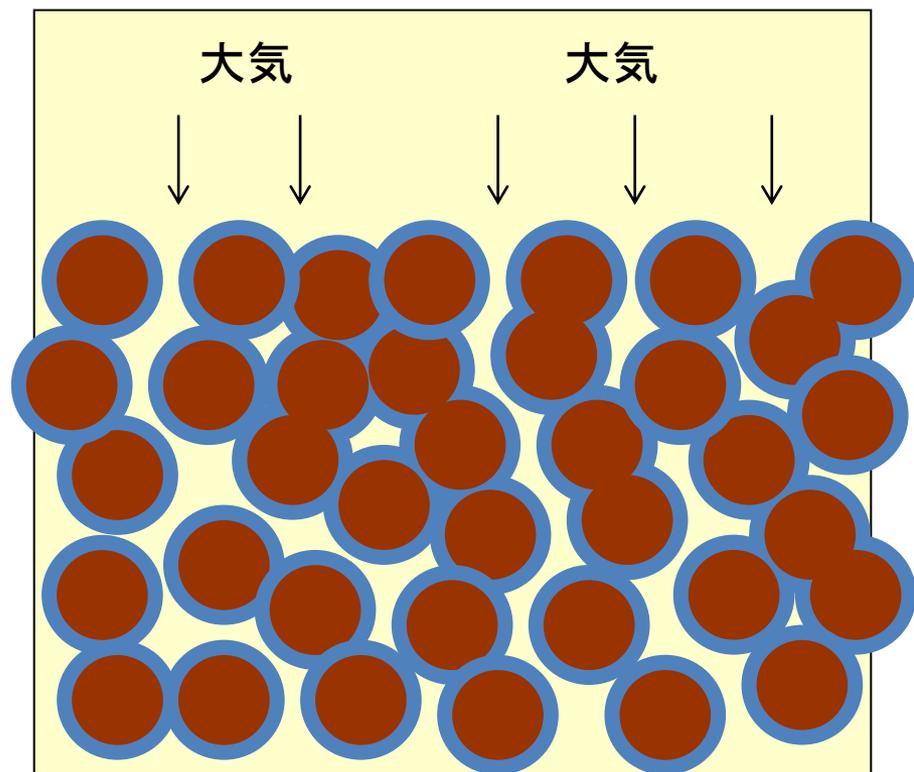
ターフクオリティとの関係

- 二酸化炭素濃度が高く、酸素濃度が低いグリーンでは夏期のターフクオリティが低下

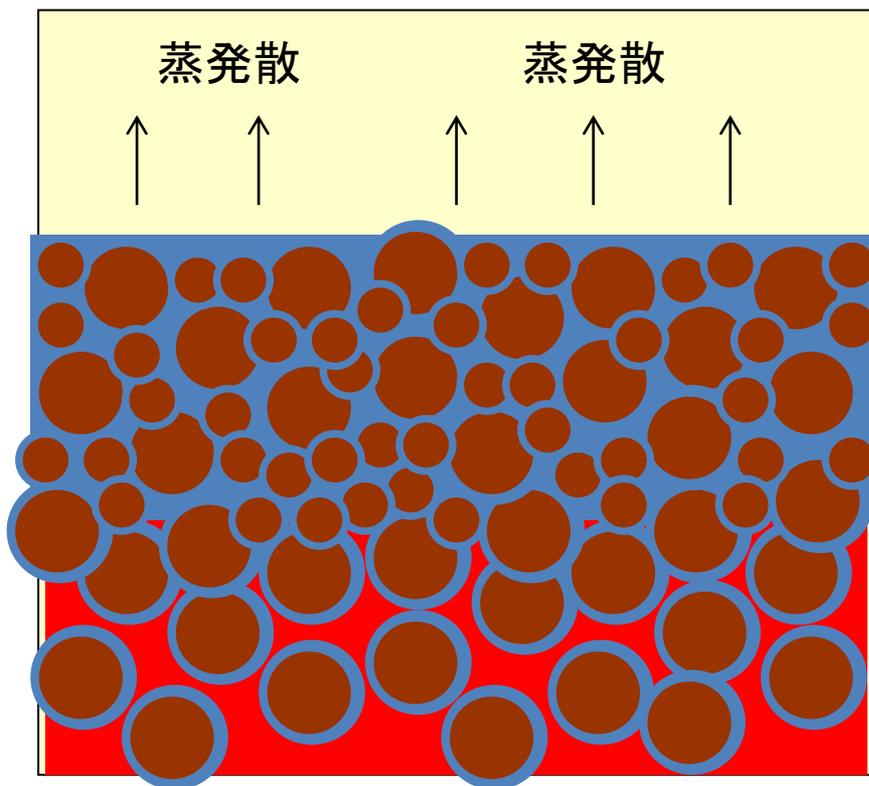
- 透水不良や水分過多など、土壤換気能力が低いグリーンでは二酸化炭素が土壤中に充満し、酸素濃度が低下しやすい



- 透水能力の高いグリーンでは排水とともに新鮮な空気が地中に引き込まれていく



透水能力の高いグリーン



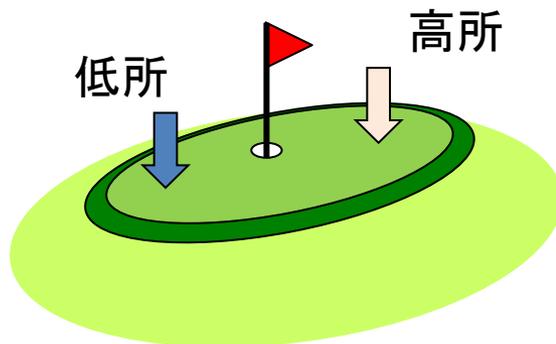
透水能力の低いグリーン

土壌湿度とガス交換

過剰な水分が土壌中の空隙を塞ぎ、ガス交換を妨げる

		土壌水分 表層5cm	土壌ガス濃度 (-15cm)	
			O ₂	CO ₂
Kゴルフ場 No.1Gr	高所	27.4 %	16.4 %	5.2 %
	低所	38.8 %	13.7 %	7.0 %
Nゴルフ場 No.1Gr	高所	13.7 %	20.3 %	0.5 %
	低所	16.8 %	19.8 %	1.4 %

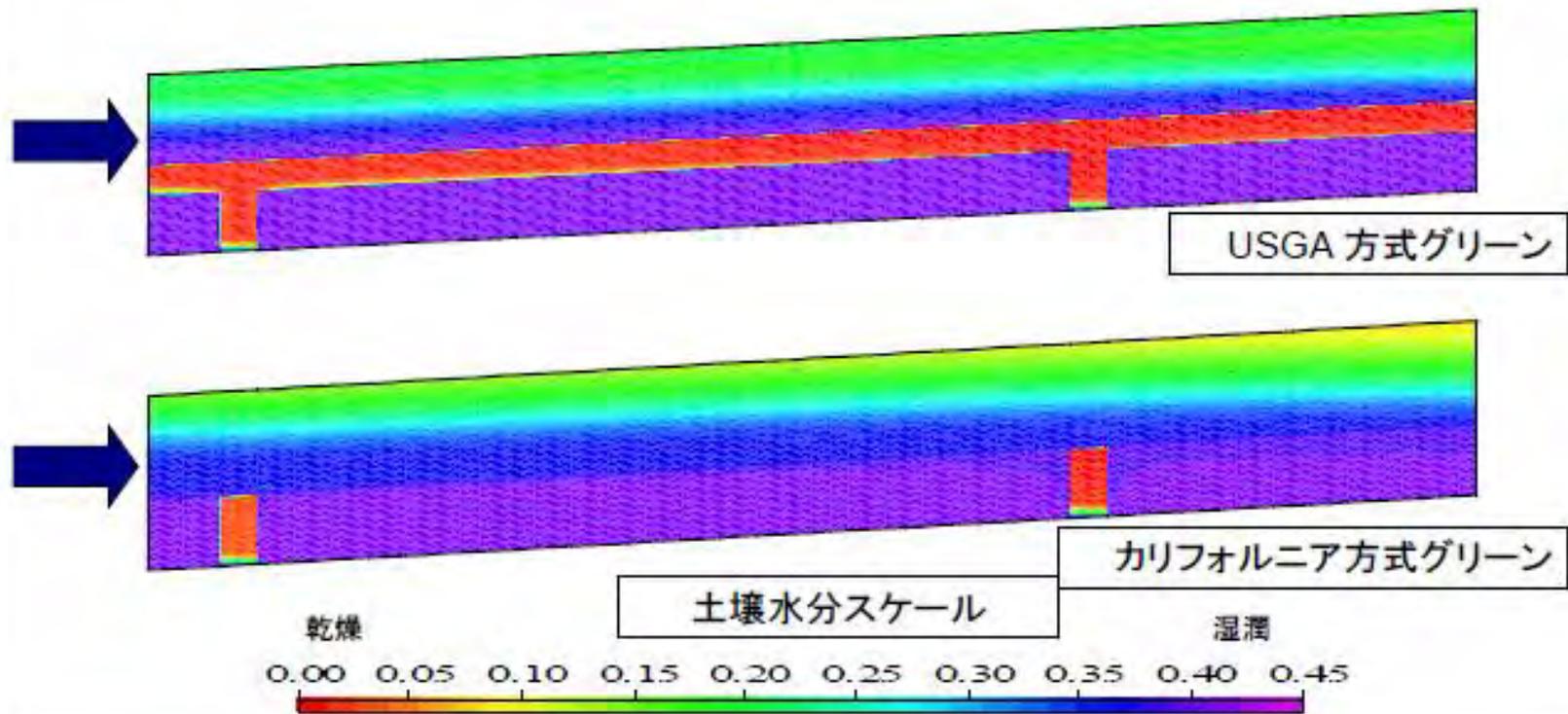
2011年5~6月測定



東洋グリーン(株)調査

グリーンからの自由水の排水が行われた後には、毛管水帯(宙水:パーチドウォーター)が残る。これは傾斜に沿って流れ、標高の低い場所にたまる。

ここに示したのはプリティマン&マッコイ(2003)の結果から作成したもので、降雨後24時間後の4%傾斜のグリーンの状態である。斜面の下の矢印部分には水が溜まっていることがわかる。



土壤環境を改善するための更新作業

根本的な土壤改善

- ▶ 三相分布の適正化(透水性・土壤通気性の改善)
 - ⇒ 過湿化を防ぎ、酸素が供給される環境
(天候に左右されない環境)
- ▶ 成層をなくす(均一な土壤)
 - ⇒ スムーズな水分移動と、根の生育

一時的な環境改善

- ▶ 排水を促す
- ▶ 土壤換気を促す
 - ⇒ 悪化した土壤環境の中で芝草が受けるストレスを軽減する

土壤環境を改善するための更新作業

```
graph TD; A[更新作業] --- B[根本的な土壤改善]; A --- C[一時的な環境改善];
```

根本的な土壤改善

一時的な環境改善

根本的な土壌改善

適正な有機物管理（サッチコントロール）

- ▶ 有機物を溜めない（悪化を防ぐ）
- ▶ 溜まった有機物を低減させる（改善）

均一な土壌層を作る

- ▶ 異種土壌層を作らない（有機物、砂など）
- ▶ 異種土壌層を取り除く

⇒ 更新作業はそのための手段の一つ

有機物の管理法

除去

- ▶ コアリング、バーチカルカット、サッチング

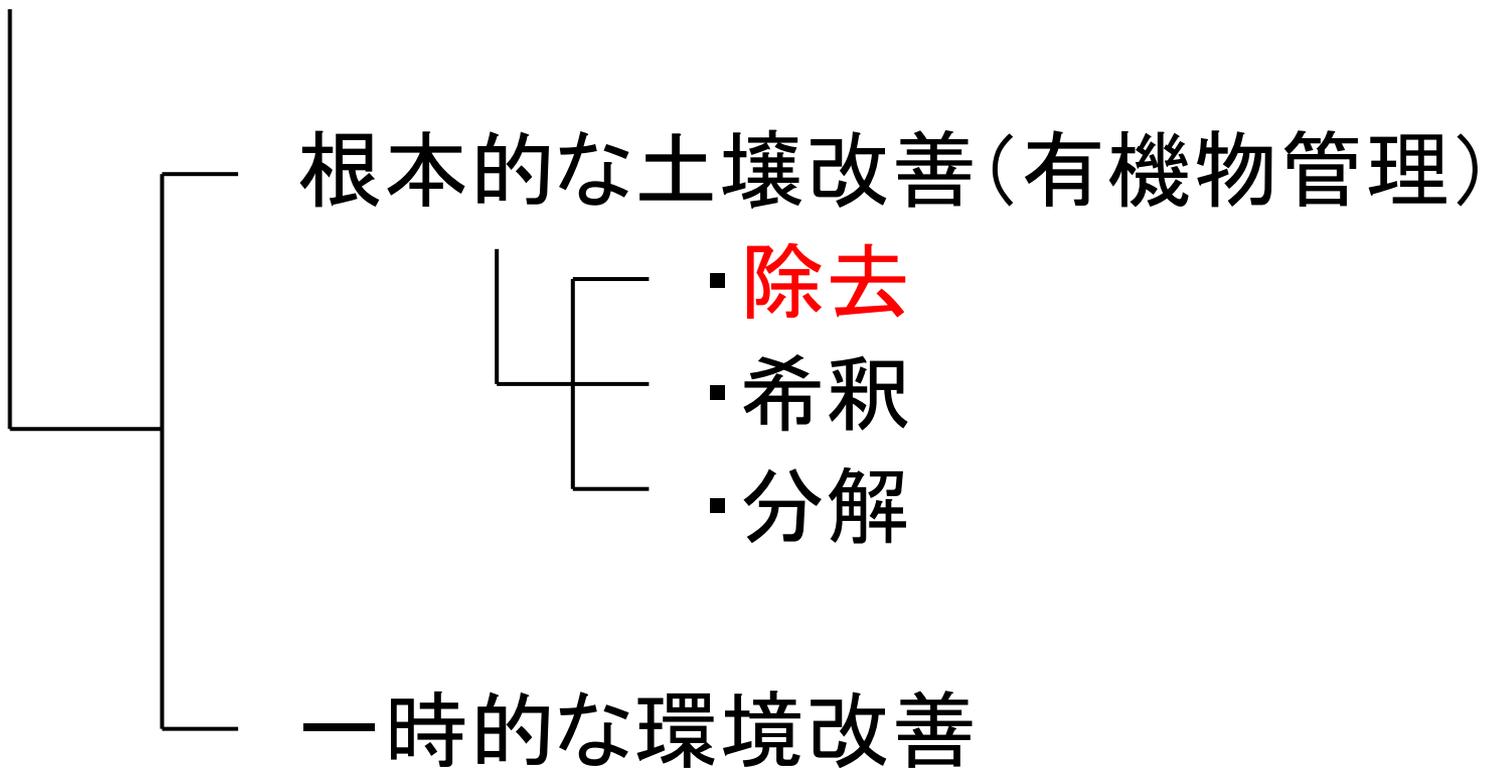
希釈

- ▶ 目土(地上散布、灌注)
- ▶ 除去作業＋目土

分解

- ▶ 土壌微生物活性を最大化する(環境、餌)
- ▶ サッチ分解剤

土壤環境を改善するための更新作業



コアリング

- ▶ 孔隙が塞がった土壌(有機物)を抜き取り、砂に入れ替える
- ▶ 気相が確保され透水性や土壌通気性が向上(排水向上、土壌換気)
- ▶ 二次的効果として微生物による有機物分解が促される
- ▶ パッティングクオリティへの影響や芝への一時的なストレスはやや大きい
- ▶ 芝が回復できる時期(生育旺盛期)に行う



コアリングの穴の部分では
芝が生き残っている



夏場のベントグラスの落ち込み

コアリングによる更新面積率

タイン内径 mm	穴の間隔 mm	更新面積率 %
4mm	25 × 50	1.0
	50 × 50	0.5
6mm	25 × 50	2.3
	50 × 50	1.1
8mm	25 × 50	4.0
	50 × 50	2.0
10mm	50 × 50	3.1
12mm	50 × 50	4.5
16mm	50 × 50	8.0

「更新面積率」とは、コアリングやバーチカルカットなどで、実際に芝生表面から除去された面積の割合

更新面積率は、タインの大きさだけでなく、タインの取り付け間隔や機械の速度によっても変わる

タインの取り付け間隔

機械速度、走行速度

更新面積率

- コアリングやバーチカルカットなどで、実際に芝生表面から除去された面積

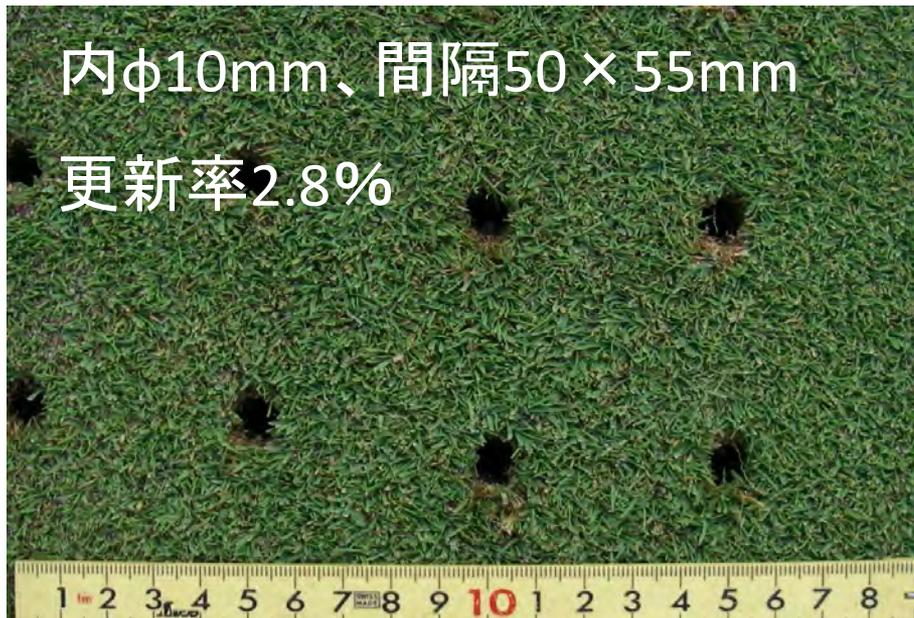
内φ6mm、間隔25×55mm

更新率2.1%



内φ10mm、間隔50×55mm

更新率2.8%



内φ8mm、間隔25×55mm

更新率3.7%



どれだけコアリングすればよいのか？

USGAの推奨する、更新作業の年間目標

- 経験上、米国東南部で長年良い状態を保っているグリーンでは、表面積の15～20%をコアリングで毎年更新している。
- 年間に $12-15\text{L}/\text{m}^2 = 12-15\text{mm}$ の目砂をいれること
- これにより有機物を重量%で3～4%未満に抑える

(Chris Hartwieger)

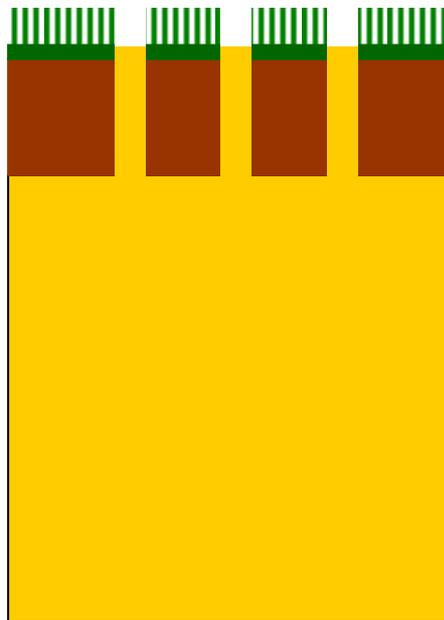
ただし、

- ▶ 重要なのは、何%更新したかではなく、適正な土壤湿度と土壤換気(芝草の生育に適した状態)
- ▶ コアリングは、それらをコントロールするための手段の一つ
- ▶ 営業条件や土壤状態に応じて作業を行う

表層に有機物が過剰に堆積している場合 (土壌改善を目的としたコアリング)

- 問題部位を抜き取り通気・透水孔を確保する
- 目砂を入れ、粗孔隙を確保、均一な砂層を作る

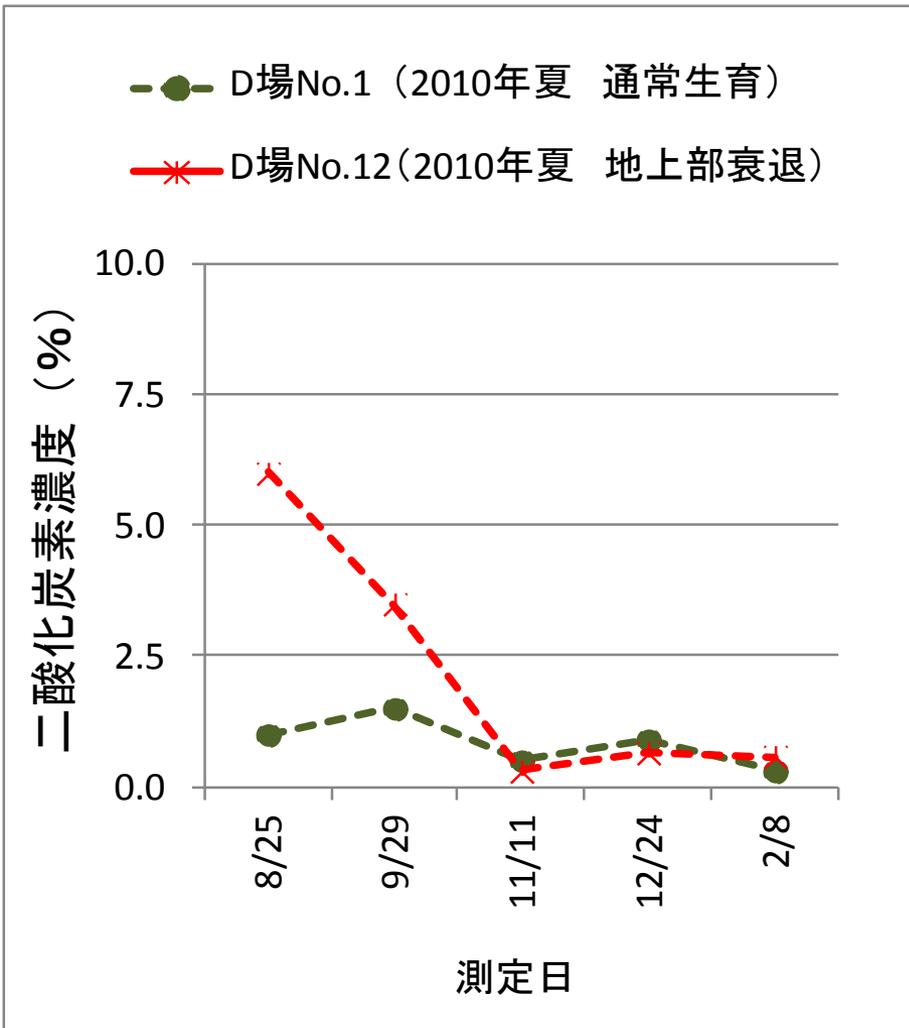
透水不良
通気不良
過湿



コアリング用機械



更新作業による土壌換気効果

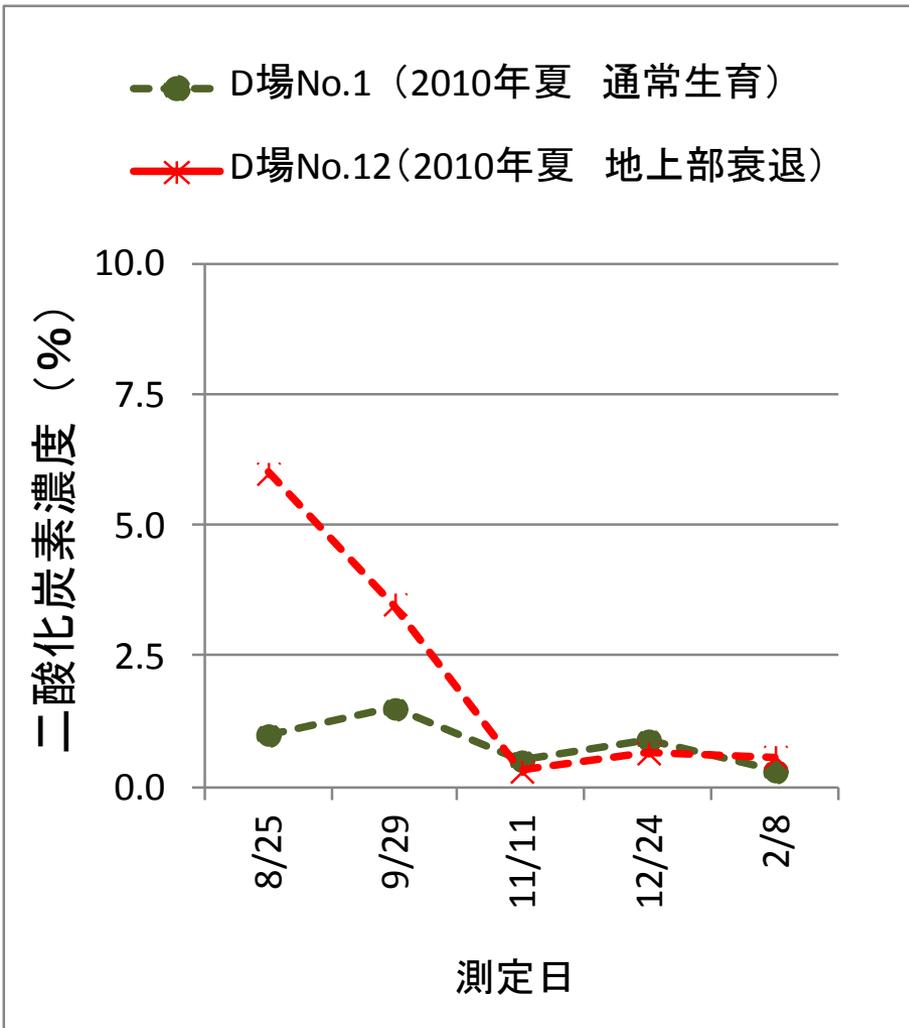


測定深度 -5cm

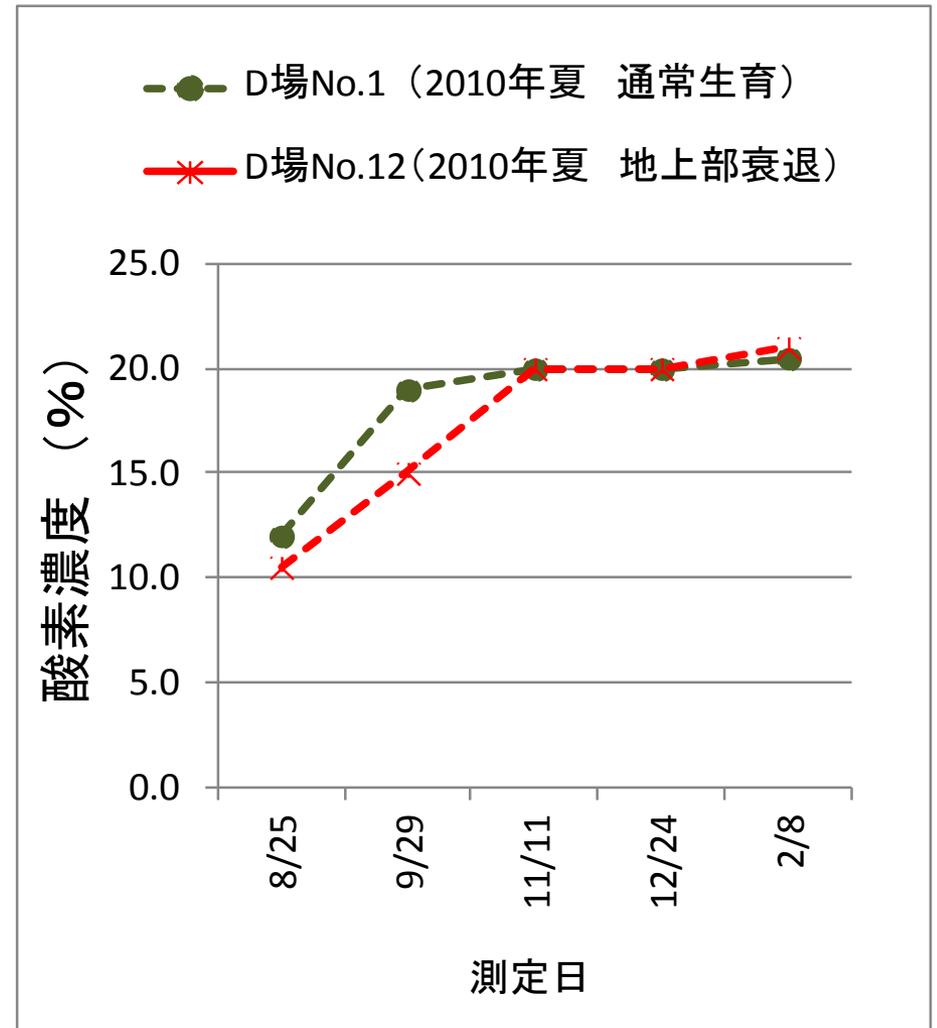
Dゴルフ場グリーン更新作業実績
(2010年8月～2011年2月)

No.1 通常生育		No.12 地上部衰退	
		9/2	ムク8mm
9/9	ムク8mm	9/11	ムク8mm
10/5	中空12mm	10/8	ドリル16mm
		10/13	中空6mm
以降、翌年春まで作業なし			

更新作業による土壌換気効果

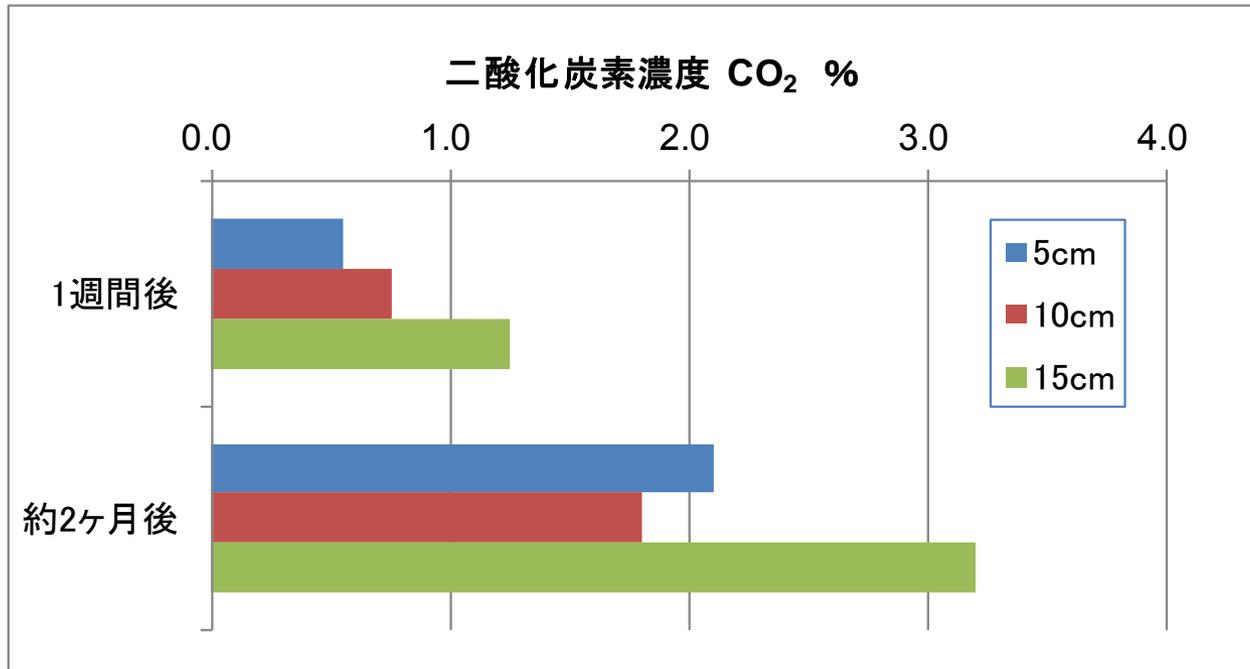


測定深度 -5cm



測定深度 -5cm

コアリングによる土壌換気効果



USGA方式グリーン、9月末φ8mmコアリング施工(施工深度8cm)

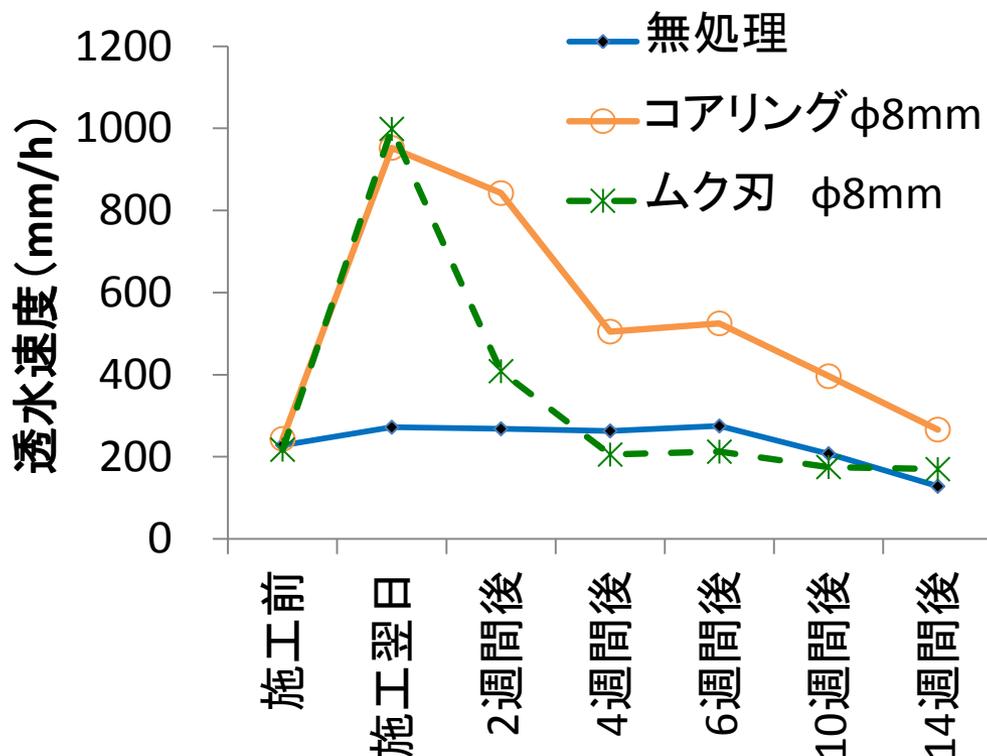
施工1週間後測定日 10/4、施工2ヶ月後測定日 11/21

施工2ヶ月後の透水速度 60mm/h

目砂を入れることの重要性

土壌中に砂の柱が作られることで気相が確保され、効果が持続する

透水改善効果の持続性の比較



ムク刃

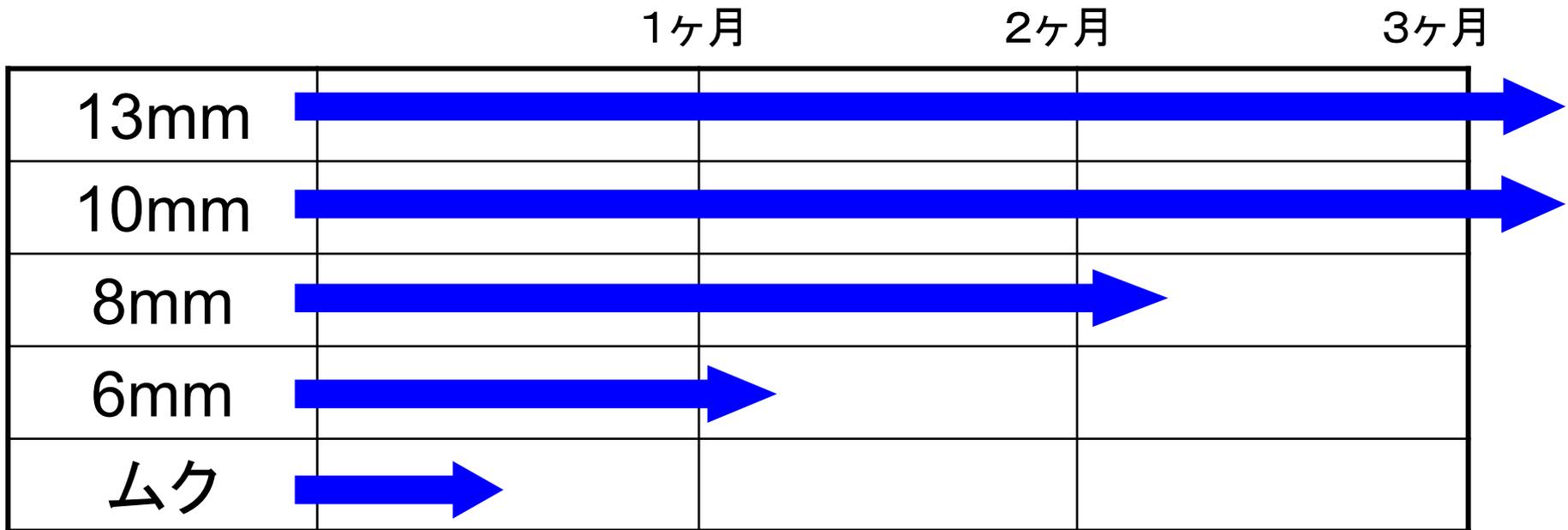
コアリング



東洋グリーン(株)調査

透水性改善効果の持続

- タインの径が大きいほど孔に砂がしっかり入るので透水性改善効果は長く続く(有機物低減効果も高い)
- ただし、ターフクオリティ回復には長い日数を要する



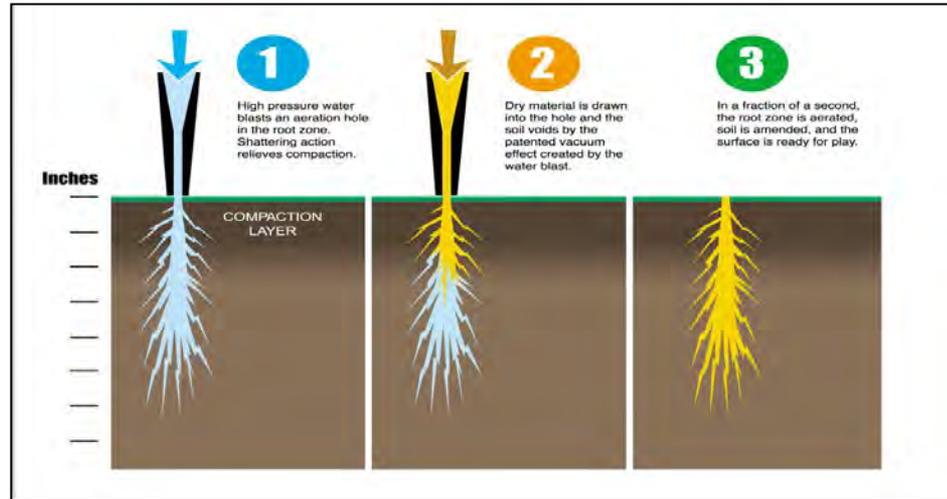
得られる効果を理解した上で、営業条件、土壌状態に応じて、
タインのサイズや施工のタイミングを決めること

コアリング後の目砂

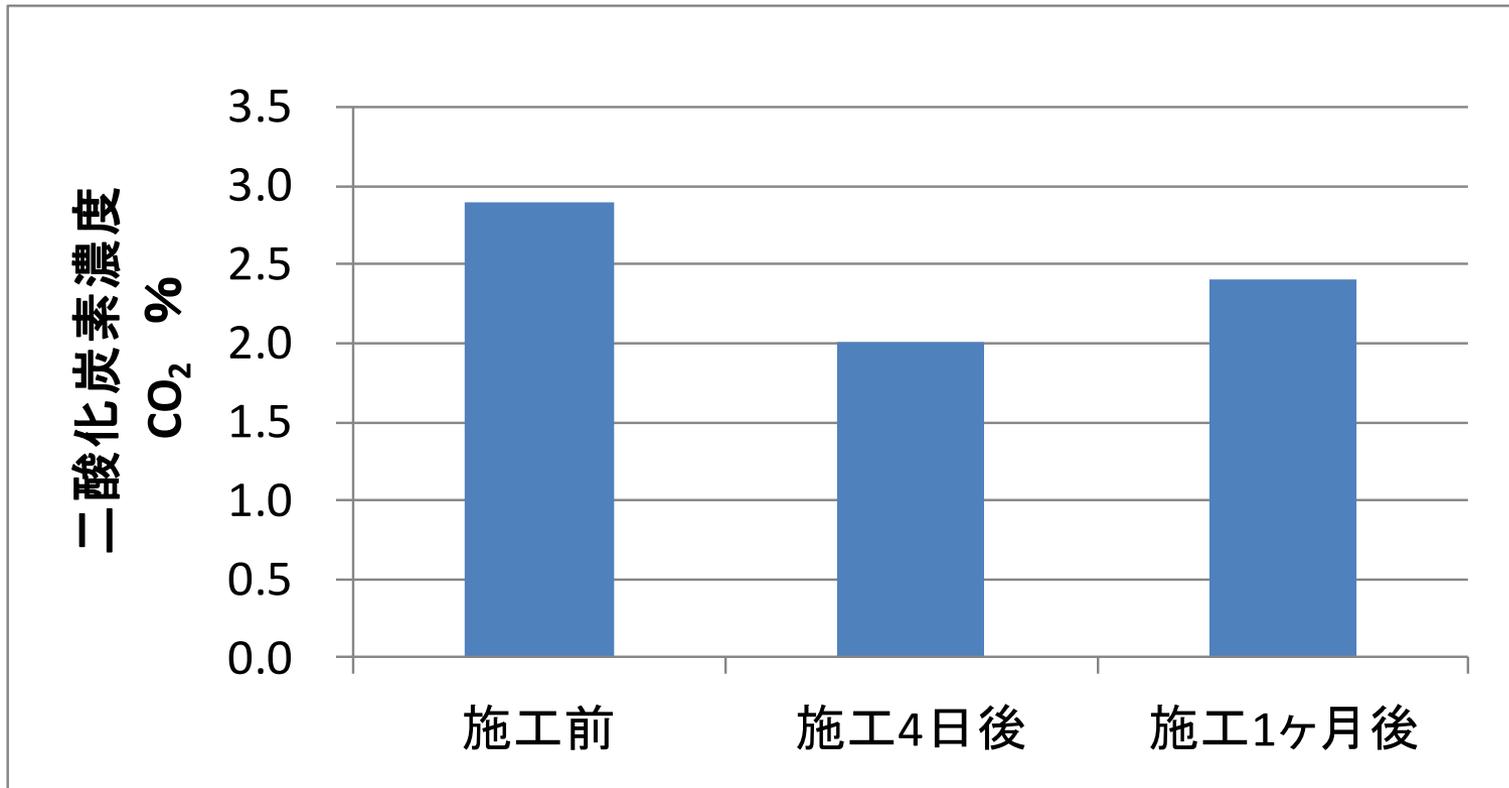
湿った砂は入り口で詰まりやすく、
孔を十分に充填することが出来ない



ドライジェット



ドライジェットによる土壌換気効果



神奈川県ゴルフ場ベントグリーン(サンド)

ドライジェット施工日 7月10日

ガス測定深度 -5cm

東洋グリーン(株) 調査

バーチカルカット

- 更新面積率が高い(有機物除去効果が高い)
- 表層部を対象とした更新作業
- パッティングクオリティへの影響や芝への一時的なストレスはやや大きい
- 芝が回復できる時期(生育旺盛期)に行う



更新面積率の比較

どちらも芝生表面の約8%を更新



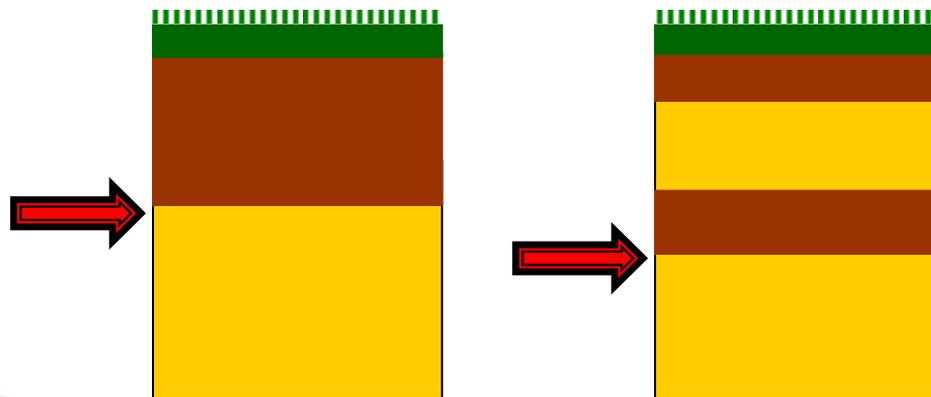
ブレード厚2mm、25mm間隔
バーチカルカット



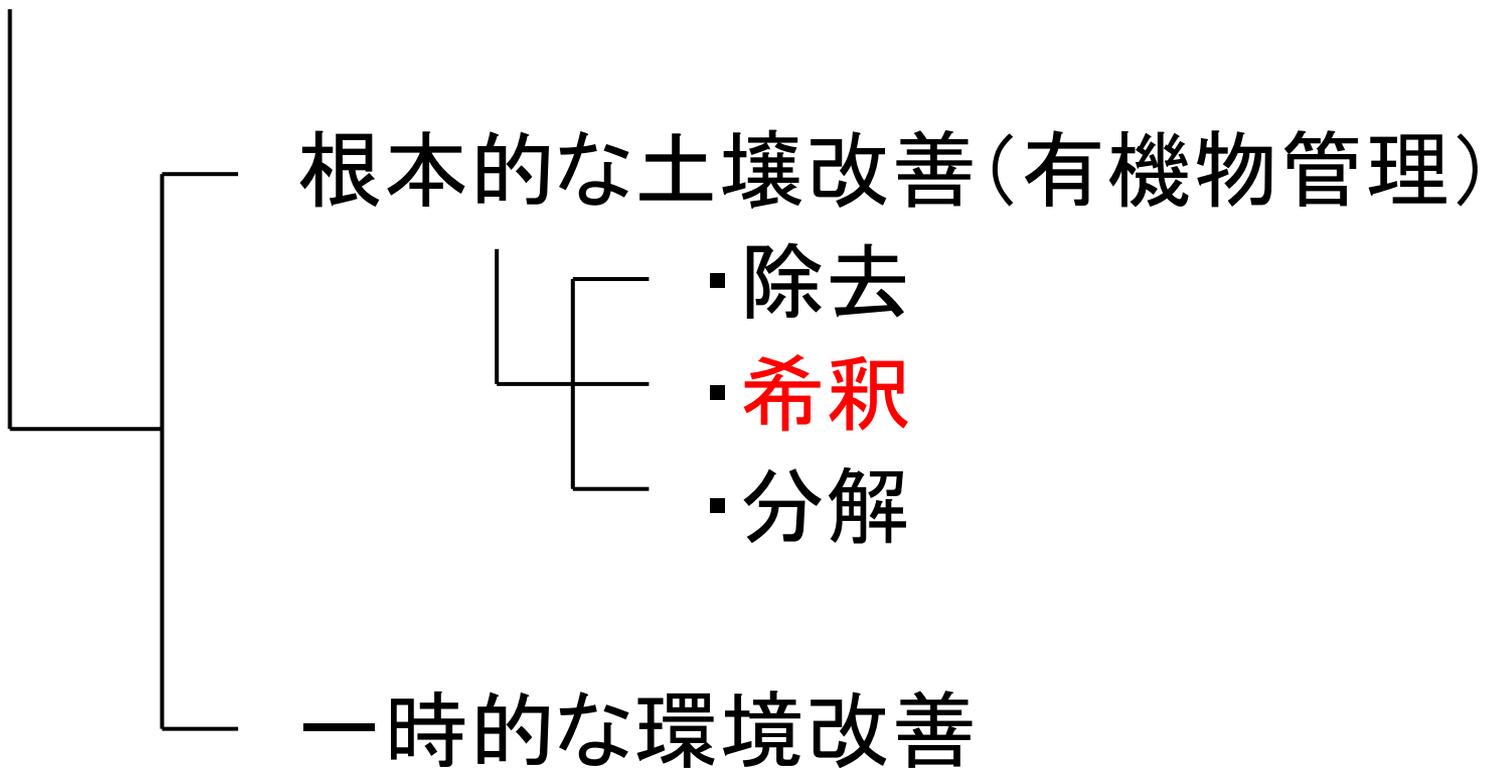
φ16mm、50×50mm間隔
コアリング

施工深度と作業の効果

- ▶ コアリング、バーチカルカットはともに、有機物低減効果が高い
- ▶ ただし、問題層位に届かない作業は、即効的な透水改善効果は得られない場合もある
⇒ 問題層位まで届く作業で透水を確保する
- ▶ 目的(土壌状態)に合わせて施工深度を決定する



土壤環境を改善するための更新作業



目土(砂目土)

- ▶ ターフ表面の「ふりく」を修正
- ▶ 芝草の生長点を覆い、擦り切れ損傷や寒さから保護する
- ▶ 茎葉を起こし、芝目を修正
- ▶ 芝草の分けつを促す
- ▶ サッチコントロール

砂で有機物を薄める

- 薄目砂散布を多回数行い、
有機物濃度を薄めながら表層を上げていく
- コアリング後の孔に目砂を入れる
- 目砂を土壌中に灌注する(ドライジェクト)
- 厚目砂散布後にムク刃で砂を地中へ押し込む

厚目土 + ムク刃で砂を押し込む

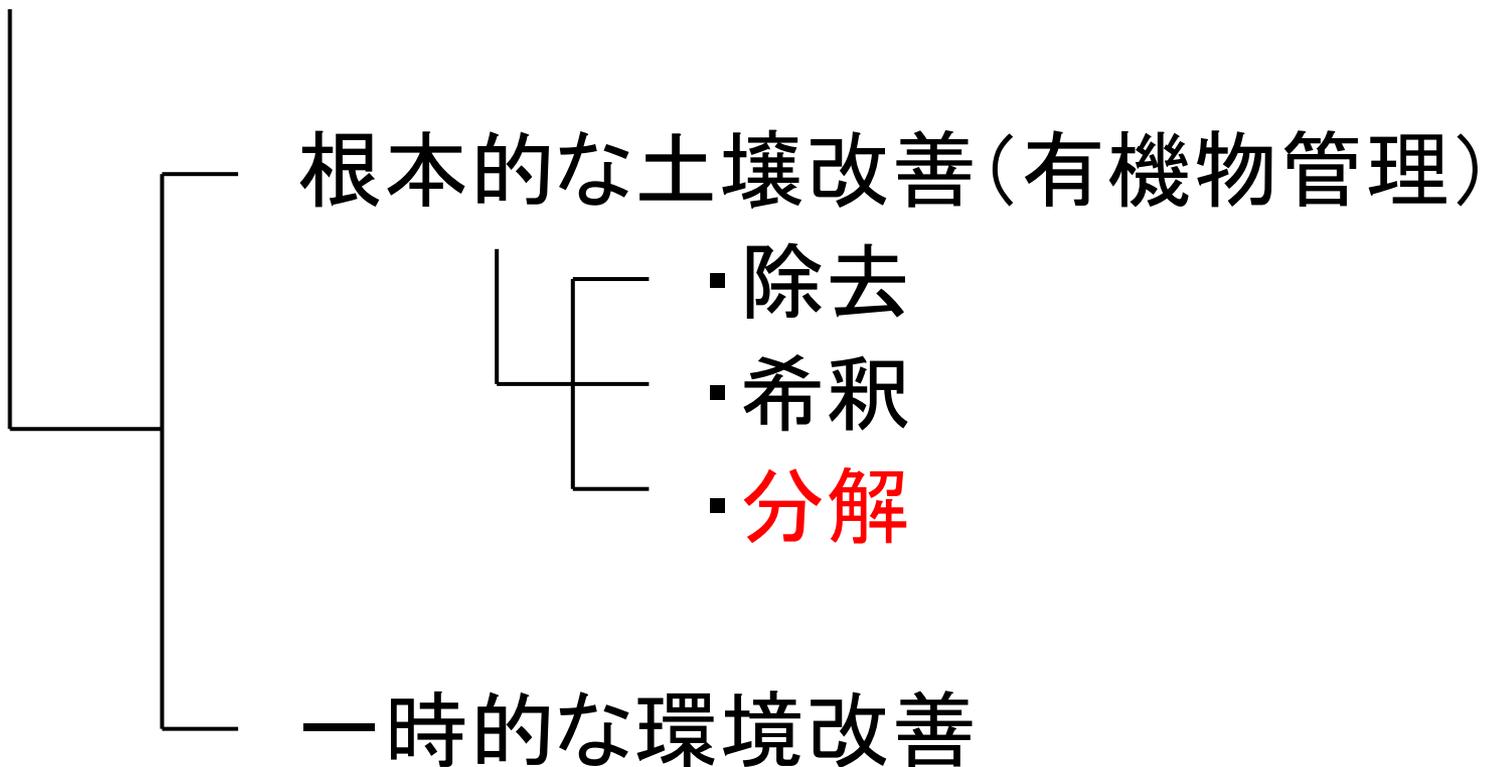


先にムク刃、後で目土



先に目土、後でムク刃

土壤環境を改善するための更新作業



土壤微生物による有機物分解を活性化させる

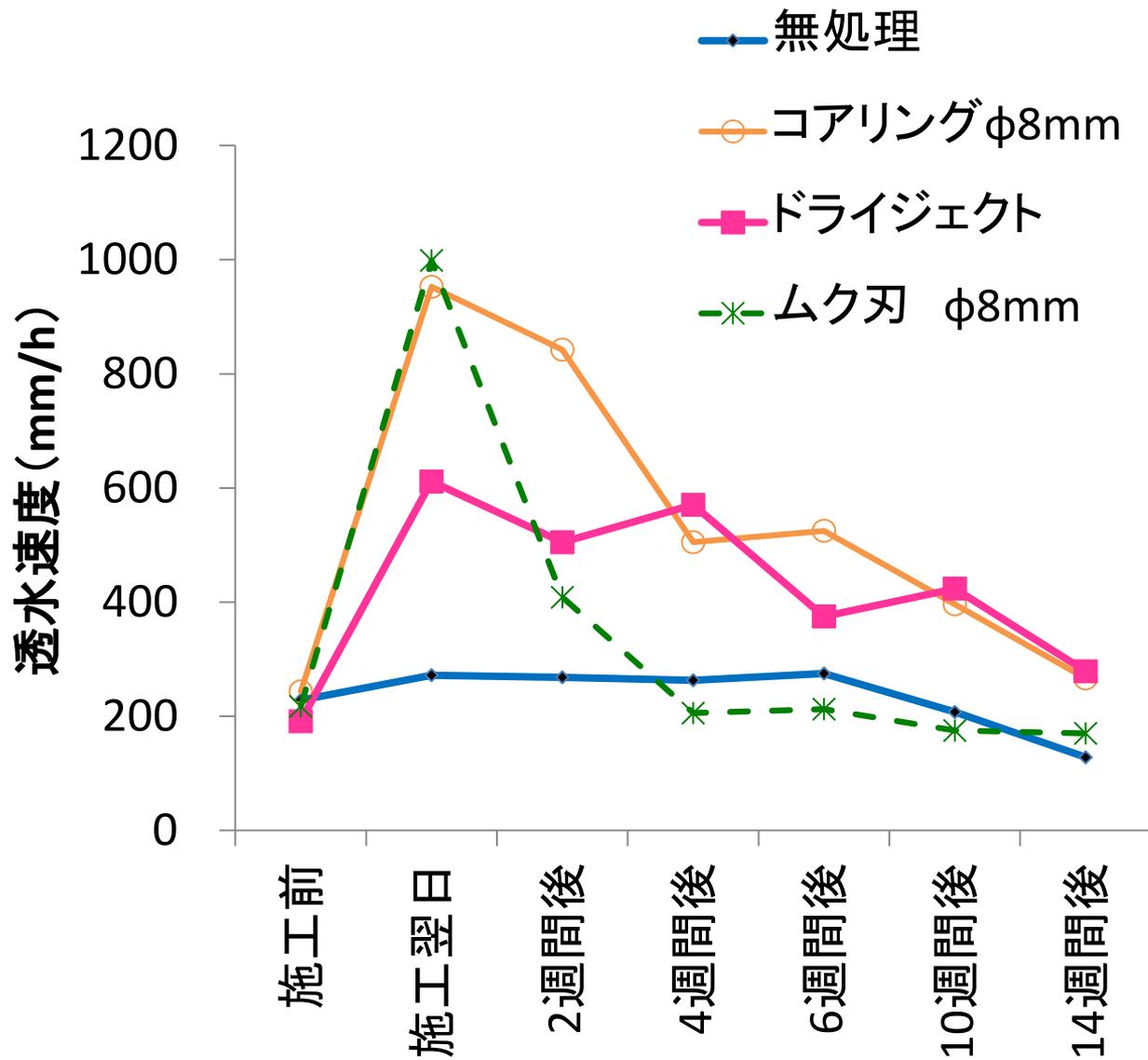
有機物分解能を左右する要因

- ▶ 土壤微生物相(量・種類) ... すみか(土質)、資材
- ▶ 温度、水分、酸素 ... 気候、土壤状態

⇒ 適度な水分と十分な酸素を維持することで
分解活性が高まる

⇒ 更新作業により土壤換気を促すことで
サッチの堆積を抑える
有機物分解により窒素分をリサイクル

透水改善効果の持続性の比較



コアリングφ8mm



ドライジェクト

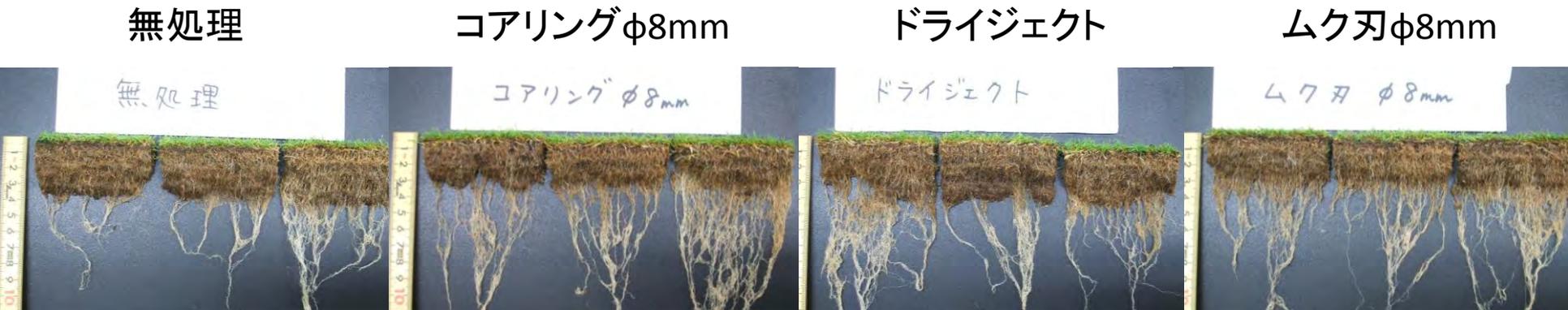


ムク刃φ8mm

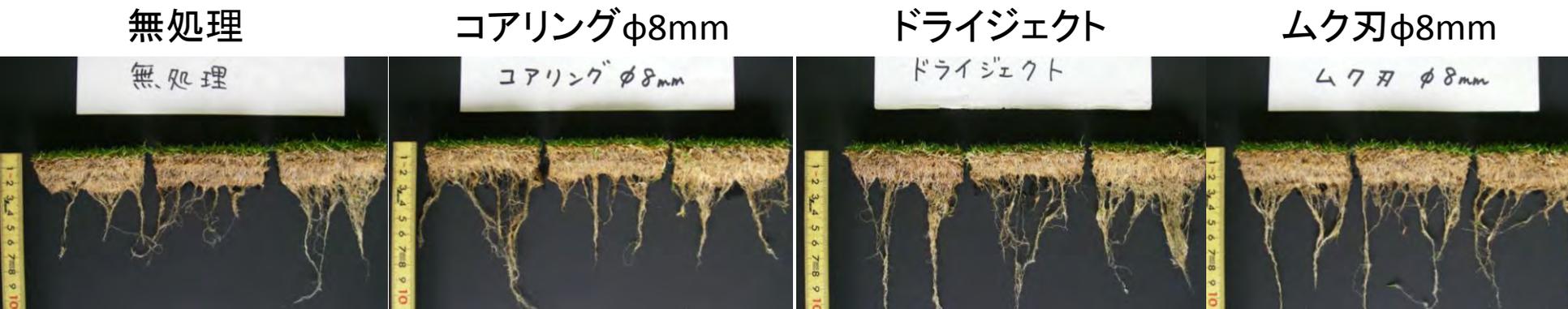


有機物分解効果の比較

施工10週間後(8/30)のサッチ層

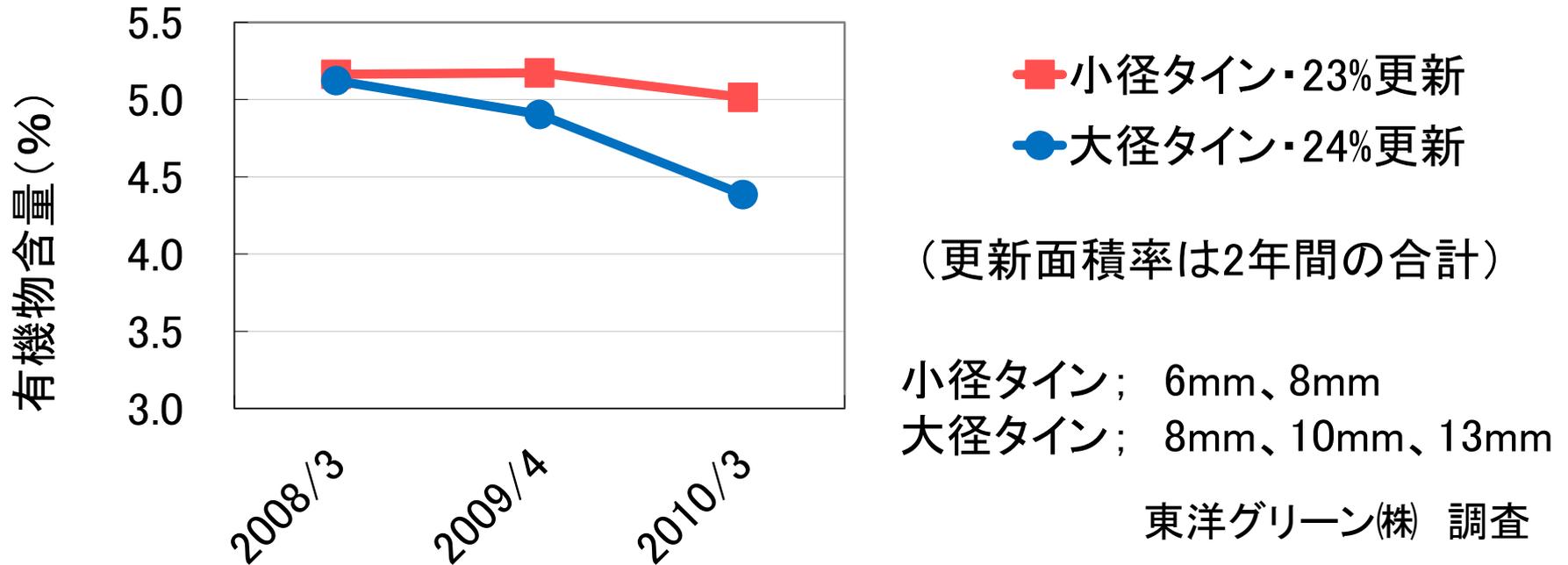


施工14週間後(9/27)のサッチ層



タインサイズと有機物低減効果

- 同じ更新面積率でも、大径タインを使用したほうが有機物低減効果は高い
⇒ 「除去」+「分解」の効果



土壤環境を改善するための更新作業

根本的な土壤改善(有機物管理)

- 除去
- 希釈
- 分解

一時的な環境改善

一時的な環境改善

パッティングクオリティの低下や、芝草に与える作業ストレスを最小限に抑え、芝草の生育環境を整える

- ▶ 排水を促す
- ▶ 表層土壌の過湿化を防ぐ
- ▶ 根に酸素を供給する

⇒ ベンディング作業（ムク刃、スパイクングなど）

土壌の性質を根本的に改善する作業ではないが、一時的に状況を改善し、芝草が土壌環境から受けるストレスを軽減する（特に夏期は重要）

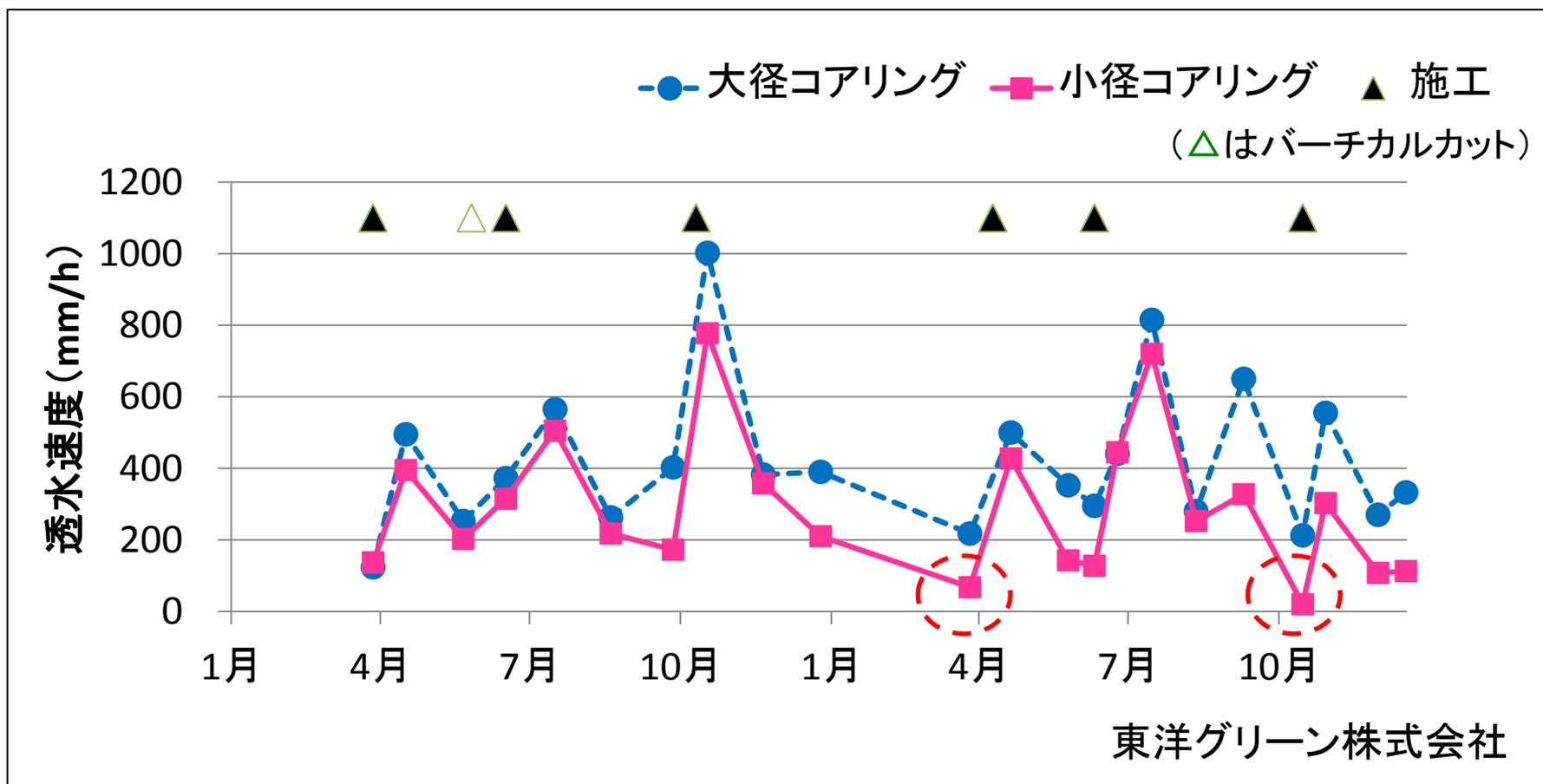
ベンディング (Venting)

- Vent = 換気
- グリーン表面の荒れを最小限にしなから、
土壌の酸素交換を促す作業
- スライシング、スパイクキング、ムク刃などによるエア
レーション、高圧灌注
- 透水・通気を促すことで、二次的効果として
微生物による有機物分解を促すことができる



工種と施工のタイミング

各工種の効果の持続性を把握した上で作業計画を立てる



ベンディングのタイミング

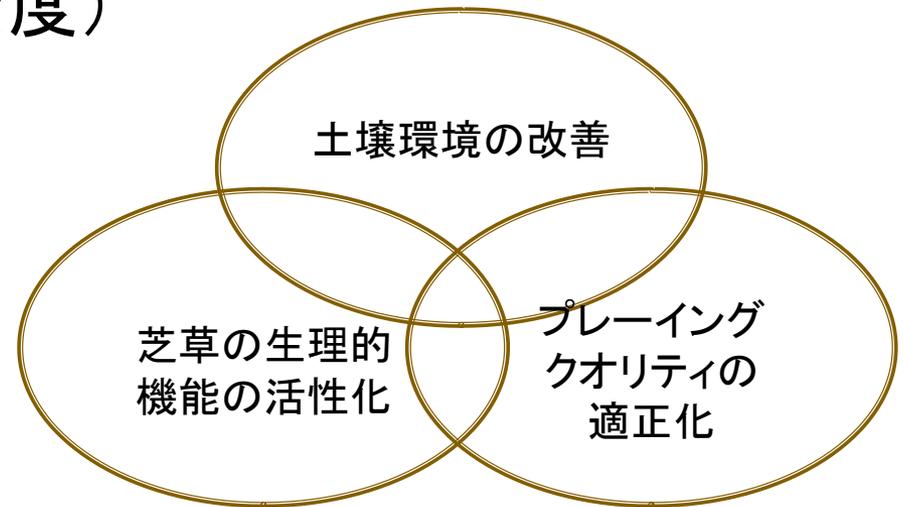
- 排水性が低下してきたら実施
(グリーン表面に水が浮かない状態を維持する)
- コアリングが行えない月は毎月実施する
- 排水性が低いグリーンは月2回程度必要なこともある
- 6月以降はガス交換(酸素供給)の目的も含めて実施

更新作業の年間計画例

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
コアリング				8 mm 						6 mm 		
ベンディング			○			○	○	○	○		○	○

更新作業のタイミング

- ▶ 土壌の状態(透水・通気、硬さ、サッチ)
- ▶ 芝草の状態(密度、健全度)
- ▶ 営業条件(クオリティ)



これらを考慮して、
必要な作業あるいは可能な作業と
そのタイミングを決定する必要がある

更新作業計画のために

- ▶ 床土の状態、芝の状態、プレーイングクオリティを把握
- ▶ 作業の目的を明確にする
- ▶ 各種作業により得られる効果とその持続性を理解しておく
- ▶ 時期(気象条件)、営業条件、コストを考慮し、適切な作業を選択

⇒ 効果を最大限に活かす
コスト削減、品質向上

ご静聴ありがとうございました

東洋グリーン株式会社